

Alma Mater Studiorum – Università di Bologna

DOTTORATO DI RICERCA IN
ARCHITETTURA

Ciclo XXVIII

Settore Concorsuale di afferenza: 08E2

Settore Scientifico disciplinare: ICAR19

ARCHITETTURE FORTIFICATE E TERREMOTO
Influenza delle tecniche costruttive sui meccanismi di danno

Presentata da: Giulia Grassi Leonardi

Coordinatore Dottorato

Prof. Arch. Giovanni Leoni

Relatore

Prof. Arch. Andrea Ugolini

Esame finale anno 2017

*Alla memoria di tutte le vite falciate dal terremoto
di Marche, Abruzzo, Umbria e Lazio, 2016.*

*Con l'auspicio che la valutazione della sicurezza,
gli interventi di adeguamento e miglioramento sismico,
siano sempre antecedenti a tragedie e ricostruzioni.*

INDICE

INTRODUZIONE	9
I CAPITOLO	15
...20 MAGGIO 2012	
1.1 Inquadramento geografico e sismologico dell'area in esame	15
1.1.1 <i>Definizione dell'area di indagine</i>	15
1.1.2 <i>Classificazione sismica</i>	17
1.1.3 <i>Eventi sismici del Maggio 2012</i>	
1.2 La normativa antisismica italiana dal 1900 a oggi	19
II CAPITOLO	26
IL PERCORSO DI CONOSCENZA DELLE STRUTTURE FORTIFICATE EMILIANE COLPITE DAL SISMA	
2.1 Nascita e sviluppo delle strutture fortificate in area padana	26
2.1.1 <i>Storia delle strutture fortificate</i>	26
2.1.2 <i>Edifici difensivi nell'epoca di transizione</i>	31
2.2 Materiali e tecniche costruttive nelle rocche emiliane del XIV-XV sec. in ambito padano	34
2.2.1 <i>Le murature in elevato</i>	36
2.2. <i>I muri a scarpa</i>	58
2.2.3 <i>Le coperture</i>	65
2.2.4 <i>La costruzione delle strutture voltate</i>	70
2.3 Elementi architettonici principali	83
2.3.1 <i>Il mastio, le torri angolari e le torri perimetrali</i>	85
2.3.2 <i>I fossati</i>	97
2.4 Elementi architettonici secondari	99
2.4.1 <i>I merli</i>	100
2.4.2 <i>I beccatelli</i>	109
2.5 Schede di rilevamento delle tredici strutture fortificate indagate	116
2.6 Individuazione dei casi di studio	119

III CAPITOLO	162
<i>CINEMATISMI DI DANNO NEGLI EDIFICI FORTIFICATI CON PARTICOLARE RIGUARDO ALLE ROCCHE EMILIANE</i>	
3.1 Comportamento dinamico delle rocche	162
3.2 Abaco dei principali cinematismi di danno nelle tredici fortificazioni oggetto di indagine	165
IV CAPITOLO	204
<i>CINQUE ROCCHE EMILIANE DANNEGGIATE DAL SISMA</i>	
4.1 Criteri adottati per la compilazione delle cinque schede di sintesi	204
4.1.1 <i>La Rocca di Vignola</i>	205
4.1.2 <i>La Rocca Estense di San Felice sul Panaro</i>	210
4.1.3 <i>Il Castello delle Rocche di Finale Emilia</i>	216
4.1.4 <i>La Rocca di Cento</i>	222
4.1.5 <i>La Rocca di Reggiolo</i>	225
4.2 Parametri sismici significativi dei casi di studio	230
4.2.1 <i>Classe d'uso</i>	231
4.2.2 <i>Vita nominale</i>	232
4.2.3 <i>Periodo di riferimento e periodo di ritorno</i>	233
4.2.4 <i>Spettri di risposta</i>	234
4.2.5 <i>Indice di sicurezza sismica</i>	236
4.3 I macroelementi architettonici maggiormente danneggiati nei casi di approfondimento	237
4.3.1 <i>Mastio, torri angolari e torri perimetrali</i>	237
4.3.2 <i>Merli</i>	248
4.3.3 <i>Beccatelli</i>	251
4.3.4 <i>Impalcati</i>	266
4.3.5 <i>Strutture di copertura</i>	268
4.4 Opere provvisionali	271
V CAPITOLO	282
<i>L'INFLUENZA DELLE TECNICHE COSTRUTTIVE SUI MECCANISMI DI DANNO: RIFLESSIONI SULLA VULNERABILITÀ DI CINQUE CASI STUDIO</i>	
5.1 Confronto dei casi studiati	282

5.2 L'influenza delle tecniche costruttive nello sviluppo dei cinematismi di danno	284
5.2.1 <i>La solidità delle murature nei ribaltamenti</i>	284
5.2.2 <i>Le coperture rigide: crolli e dissesti delle parti sommitali</i>	290
5.2.3 <i>Le volte e le deformazioni angolari delle facciate</i>	292
5.3 I legami tra strutture, sisma e danni subiti: alcune considerazioni relative i cinque casi di approfondimento	297
CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	304
<i>QUADRO ANALITICO-GEOGRAFICO DEGLI EDIFICI CATALOGATI</i>	
APPARATI DOCUMENTALI	311
<i>BIBLIOGRAFIA RAGIONATA</i>	342
<i>INDICE IMMAGINI</i>	367
<i>RINGRAZIAMENTI</i>	370

INTRODUZIONE

Lo sciame sismico che nell'anno 2012 ha colpito l'Emilia Romagna ha riproposto situazioni di emergenza e scenari di danno osservati in precedenza già altre volte in Italia in occasione dei numerosi terremoti distruttivi susseguitisi nei secoli.

Risolta la fase iniziale di gestione delle urgenze, sono state promosse molte iniziative di studio e collaborazione da parte di istituti universitari ed enti di ricerca. Fra queste va ricordato l'impegno preso dal *Dipartimento di Architettura dell'Università degli Studi di Bologna* affinché tutti i percorsi di ricerca afferenti il XXVIII ciclo di Dottorato, fossero incentrati sullo studio di tematiche attinenti gli eventi sismici manifestatisi qualche mese prima e le possibili modalità di ricostruzione.

La tesi nasce quindi sia dall'iniziativa del *Dipartimento di Architettura* sia dall'interesse personale verso le strutture fortificate.

Il percorso di ricerca intitolato "*ARCHITETTURE FORTIFICATE E TERREMOTO: Influenza delle tecniche costruttive sui meccanismi di danno*" intende comprendere le peculiarità di queste strutture, soffermandosi in particolar modo su quali siano i rapporti che intercorrono tra le modalità e le tecniche costruttive rilevabili nelle fortificazioni considerate ed i danneggiamenti da esse riportati.

Oggetto della presente ricerca di dottorato sono quindi le architetture fortificate e tutelate ai sensi del D. Lgs. n. 42/2004, collocate in ambito emiliano, segnate dal sisma del 20 e del 29 Maggio 2012.

I gravi fenomeni di dissesto rilevati all'indomani degli eventi tellurici in numerosi manufatti fortificati, non è chiaro come abbiano potuto innescarsi in corrispondenza di questi edifici apparentemente tanto resistenti. Il percorso di studio prende le mosse appunto da questi interrogativi e li fa propri.

La tesi è suddivisa in cinque capitoli.

Come prima cosa è stato effettuato un inquadramento geografico e sismologico dell'area interessata; in particolar modo è stata delimitata quest'ultima, sono state individuate le più importanti sequenze sismiche che hanno colpito il territorio in esame nel corso dei secoli e sono stati descritti gli eventi sismici del maggio 2012. Chiude questa prima parte della tesi una lettura critica delle principali norme antisismiche italiane, dall'inizio del XX sec. fino ad oggi.

Successivamente sono stati illustrati la nascita e lo sviluppo delle strutture fortificate emiliane e in seguito sono state selezionate tredici fortificazioni, da prendere in considerazione nella presente ricerca. Grazie alla convenzione stipulata dal *Dipartimento di Architettura dell'Università degli Studi di Bologna*, citata nei paragrafi precedenti, è stato possibile accedere alla banca dati detenuta dalla *Direzione Regionale per i Beni Culturali e Paesaggistici per l'Emilia Romagna* ed avere un elenco di tutte le strutture fortificate emiliane tutelate ai sensi del D. Lgs. n. 42/2004.

La documentazione ricevuta consiste in una lista comprendente settantacinque elementi, suddivisi per Provincia, ognuno di essi identificato mediante un codice numerico. Per ciascuna struttura sono stati indicati: la denominazione, l'ubicazione (il Comune o la frazione di appartenenza e l'indirizzo), la tipologia di proprietà (pubblica o privata) e se i danni rinvenuti dopo il sisma sono reali o fittizi. L'elenco di cui sopra è stato ricavato ricercando la parola chiave “*strutture fortificate*” nel *database*. La maggior parte degli edifici compresi nell'elenco è costituita da manufatti che esulano da questo studio: alcuni di essi risultano inesistenti o scomparsi, altri sono strutture non fortificate, sia civili che ecclesiastiche, ed una porzione minore è costituita da torri civiche e campanarie¹. Si è quindi proceduto a selezionare tra tutti gli edifici elencati esclusivamente le strutture fortificate, prendendo in considerazione le tredici sopra menzionate.

Dopo aver analizzato la forma e studiato l'evoluzione storica di ognuna di esse, sono stati effettuati sopralluoghi e rilievi fotografici, al fine di constatarne i caratteri morfologico-costruttivi principali. Tutte le informazioni raccolte sono confluite in schede di rilevamento. Queste ultime sono state predisposte come strumento di raccolta dati, i quali pur essendo solamente descrittivi, possono fornire un ottimo aiuto nel processo di confronto delle informazioni. L'insieme delle nozioni assemblate costituisce un utile strumento ai fini delle successive valutazioni, in quanto permette di creare una banca dati omogenea, a partire dalle diverse tipologie di notizie disponibili per ciascun manufatto.

Dopo aver indagato i tredici manufatti fortificati, si è proceduto quindi a selezionarne un numero limitato, da studiare più approfonditamente, attraverso la loro suddivisione in gruppi omogenei, avendo come fonte di informazione i dati raccolti ed elaborati nelle schede di rilevamento. Per selezionare i casi di studio, sono state tenute in considerazione: le caratteristiche morfologico-costruttive simili, l'evoluzione storica che vanta fasi molto significative nell'arco temporale comprendente il XIV ed il XV sec.: i manufatti scelti infatti sono stati costruiti *ex novo* o a partire da strutture preesistenti proprio durante questo periodo, successivamente hanno subito, in maniera più o meno accentuata, modifiche strutturali e restauri, fino ad assumere l'aspetto che presentavano all'alba degli eventi sismici del Maggio 2012, e la destinazione d'uso, prevalentemente difensivo-militare.

¹ Una struttura inesistente è ad esempio il cosiddetto *Castello di Santa Bianca* a Bondeno (FE). I manufatti scomparsi sono l'ex mercato di *Porta Nova* a Carpi (MO) ed il complesso la *Rocca* a Campogalliano (MO), attualmente adibito a parco, che ricalca mediante la propria orografia l'antica pianta di un castello ivi esistente. Tra gli edifici non fortificati sono state rilevate sia strutture civili, come scuole, ad esempio il *Polo Barberini* a Crevalcore (BO), la *Scuola Primaria Rodari*, all'interno dell'ex monastero della *Rocca a Cento* (FE), torri piezometriche, ad esempio quelle di *Finale Emilia* (MO), *Bondeno* (FE), *Mirabello* (FE) e *Soliera* (MO), sia strutture ecclesiastiche, tra le quali l'oratorio *Madonna della Porta* a Cento (FE). Le numerose torri rilevate sono in parte civiche, come ad esempio la *Torre dell'orologio del Palazzo della Ragione* di Ferrara, la *Torre Civica Ferraresi* di Camposanto (MO), quelle di *Novi* (MO), di *Guastalla* (RE), di *Medicina* (BO) e di *San Felice sul Panaro* (BO), e in parte campanarie, come la *Ghirlandina* di Modena, quella di *Rubiera* (RE) e quella di *Correggio* (RE).

Tra i tredici manufatti fortificati analizzati precedentemente, sono state quindi selezionate cinque rocche.

In un secondo momento sono stati inoltre presi in rassegna anche i materiali e le tecniche costruttive utilizzati nelle rocche in oggetto.

Queste ultime sono edifici con caratteristiche tipologiche simili: presentano tutte piante rettangolari o quadrate, con torri sporgenti rispetto la cinta muraria, anch'esse quadrate.

Ai fini della ricerca ogni caso di studio è stato scorporato in singole parti, strutturalmente, volumetricamente, funzionalmente definibili e costruttivamente unitarie, chiamate elementi architettonici. Questi ultimi sono contenuti in tutte, o quasi, le rocche indagate. Ciascun caso di approfondimento risulta costituito dall'aggregazione di elementi architettonici, secondo modi e numero variabili di volta in volta.

La suddivisione in parti effettuata è finalizzata in particolare alla descrizione e alla localizzazione dei fenomeni di danno. Ciascun elemento rappresenta l'unità di rilevamento entro la quale verranno descritti tali fenomeni e la comparazione dei cinematismi riscontrati nei casi di studio, sarà facilitata in quanto avverrà tra unità affini.

L'individuazione, la descrizione e il confronto dei cinematismi di danno rilevati, suddivisi secondo l'elemento architettonico di appartenenza, occupano tutti i capitoli centrali della tesi, a partire dal terzo.

Quest'ultimo si apre con un sintetico inquadramento relativo il comportamento dinamico che gli edifici fortificati emiliani hanno manifestato durante gli eventi calamitosi del 2012 e si chiude con l'abaco dei principali cinematismi di danno rilevati nelle tredici fortificazioni oggetto di indagine. Esso è costituito da due tabelle, nelle quali sono state raccolte le forme di rottura riscontrate in tutti gli elementi architettonici appartenenti ai manufatti indagati. I cinematismi rilevati sono stati suddivisi, secondo la loro tipologia, in undici macro categorie. Per ciascun meccanismo è stata selezionata un'immagine esplicativa, fra tutte quelle presenti nella banca dati costruita durante i sopralluoghi.

Successivamente nella presente ricerca sono state riportate le schede di sintesi messe a punto per i cinque casi studio, nelle quali vengono aggiunte ulteriori informazioni, completati ed approfonditi i dati esposti precedentemente nelle schede di rilevamento delle tredici strutture fortificate indagate.

Rispetto alle schede di sopralluogo, in quelle di approfondimento finali, sono state aggiunte o ampliate alcune sezioni. Il livello di conoscenza dei casi studio che emerge dalle schede di sintesi è intermedio

tra il livello speditivo e quello analitico, secondo le definizioni riportate nella vigente normativa in materia².

Lo studio prosegue con l'analisi dei principali parametri sismici utilizzati per confrontare in maniera semplice ed oggettiva la vulnerabilità dei casi di studio individuati. Non essendoci stata possibilità di realizzare prove di indagine distruttive, tutte le considerazioni esposte derivano da analisi visive, letture dei caratteri costruttivi, rilievi critici e stratigrafici. Le conclusioni evincibili sono pertanto assimilabili ad un livello di conoscenza limitato o LV1³, basato sulla padronanza di dati geometrici e/o meccanici, qualitativi.

Oggetto della presente ricerca di dottorato è quindi la comprensione dei legami esistenti fra le caratteristiche morfologico-costruttive delle strutture fortificate, la tipologia dello sciame sismico ed i cinematismi di collasso innescati dal terremoto in Emilia.

Nell'ultima parte infatti, oltre al calcolo delle percentuali di accadimento delle varie tipologie di cinematismi rilevate, vengono illustrati i legami tra tecniche costruttive e dissesti innescatisi sotto sisma.

Si conclude quindi la ricerca con lo studio della vulnerabilità sismica degli edifici indagati e l'analisi delle cause più importanti che hanno innescato i fenomeni di dissesto, tra le quali si possono enumerare: la disposizione dei vari elementi architettonici presenti, le trasformazioni e i rimaneggiamenti storici che hanno interessato le fortificazioni indagate nel corso dei secoli, motivazioni intrinseche agli edifici, come l'utilizzo di materiali da costruzione scadenti, l'impiego di tecniche costruttive inappropriate e interventi di consolidamento strutturale non compatibili con i manufatti storici nei quali sono stati messi in opera.

Prima di chiudere quest'introduzione e dare inizio alla tesi, si vuole sottolineare che nonostante siano già state scritte molte pagine in merito ai cinematismi causati dal sisma nelle strutture in muratura, quali ad esempio chiese e campanili⁴, ad oggi la risposta fornita dalle strutture fortificate in muratura agli eventi sismici, risulta un territorio poco esplorato. Inoltre l'esiguo materiale pubblicato nel caso dei manufatti fortificati non approfondisce i rapporti che intercorrono tra le

² Le informazioni acquisite mediante le schede di sintesi infatti sono alcune di quelle elencate nei MODULI B e C delle schede previste dal Ministero per i Beni e le Attività Culturali per esporre sistematicamente le conoscenze relative il patrimonio culturale italiano. Sono stati catalogati tutti i dati rilevabili dall'osservazione diretta delle fabbriche e dalle ricerche storiche ad esse correlate, propedeutico al raggiungimento del livello di conoscenza speditivo. Sono state inoltre affinate le conoscenze di tipo geometrico, materico e costruttivo dei manufatti, tuttavia non potendo effettuare analisi *in situ* o in laboratorio, non è stato possibile studiare le cinque rocche a livello analitico. (Cfr. Ministero per i beni e le attività culturali, CIRCOLARE n. 26 del 2 Dicembre 2010, *Linee guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale allineate alle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni*, Gangemi Editore, Roma 2010, pp. 129).

³ D.P.C.M. 9 Febbraio 2011, *Direttiva del Presidente del Consiglio per la valutazione e riduzione del rischio sismico per il patrimonio culturale*, par. 2.1 Strumenti per la valutazione della sicurezza sismica a scala territoriale, consultabile gratuitamente dal sito <http://www.sabap-siena.beniculturali.it/getFile.php?id=146>, ultima consultazione 20 Marzo 2017, ultima consultazione 20 Marzo 2017, pp. 7-8.

⁴ F. Doglioni, A. Moretti, V. Petrini, *Le chiese e il terremoto*, Lint, Trieste 1994, pp. 2-10.

modalità e le tecniche costruttive in essi rilevabili ed i danneggiamenti in essi manifestatisi, qualora sottoposti a sisma.

I CAPITOLO

...20 MAGGIO 2012

1.1 Inquadramento geografico e sismologico dell'area in esame

1.1.1 *Definizione dell'area di indagine*

I manufatti appartenenti all'elenco estrapolato dal *database* della Direzione Regionale per i Beni Culturali e Paesaggistici per l'Emilia Romagna⁵, sono collocati all'interno di un'area appartenente alle Province di Bologna, Ferrara, Modena e Reggio Emilia e sono distribuiti in quaranta Comuni differenti (fig. 1).

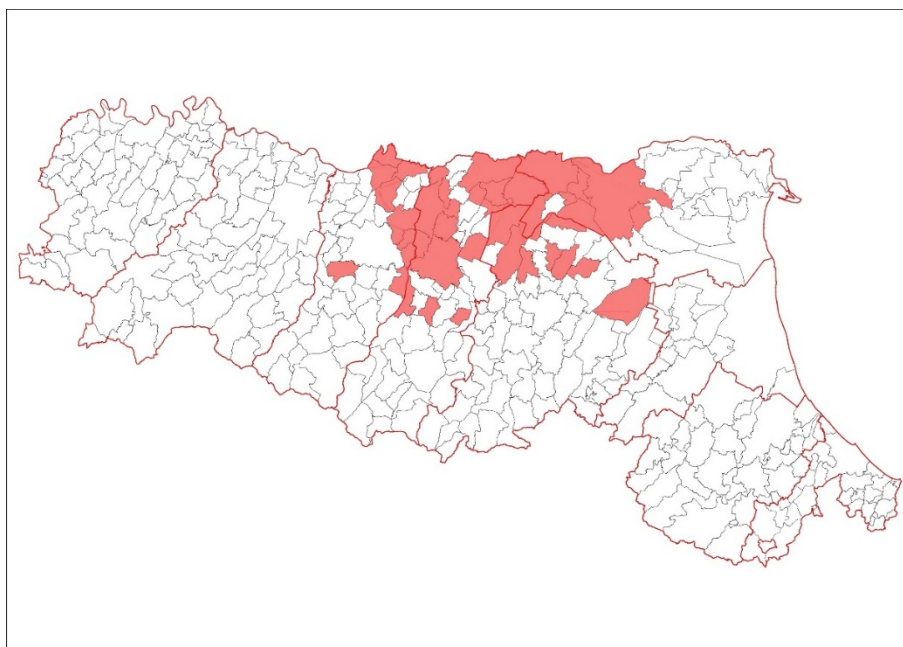


Figura 1 – Campiti in rosso i Comuni di appartenenza degli edifici fortificati elencati nella tabella fornita dalla Direzione Regionale.

I tredici manufatti fortificati censiti sono ubicati in tredici differenti Comuni, appartenenti ai quaranta menzionati poco sopra. La maggior parte delle località in oggetto appartiene alla provincia di Modena: Soliera, Mirandola, San Felice sul Panaro, Finale Emilia e Vignola. Non mancano tuttavia città afferenti alle provincie di Bologna: Crevalcore e Minerbio; Ferrara: Cento, Bondeno, Poggio Renatico e Ferrara; Reggio Emilia: Novellara e Reggiolo.

⁵ L'elenco ricevuto da parte degli Enti preposti comprende settantacinque strutture, molte delle quali non sono fortificate e pertanto esulano dalla presente ricerca. Le strutture fortificate reali elencate sono soltanto tredici, tutte indagate attraverso sopralluoghi e ricerche bibliografico-archivistiche, di queste esclusivamente cinque saranno oggetto di approfondimento.

I cinque casi di studio selezionati (fig. 2) appartengono alle province di Ferrara, Modena e Reggio Emilia e più precisamente ai Comuni di: Cento (FE), Finale Emilia (MO), San Felice sul Panaro (MO), Vignola (MO) e Reggiolo (RE).

I parametri sismici, come è noto, variano molto rapidamente in funzione del sito considerato, pertanto è stato ritenuto opportuno valutare le coordinate geografiche di ogni caso studio⁶ (fig. 3).

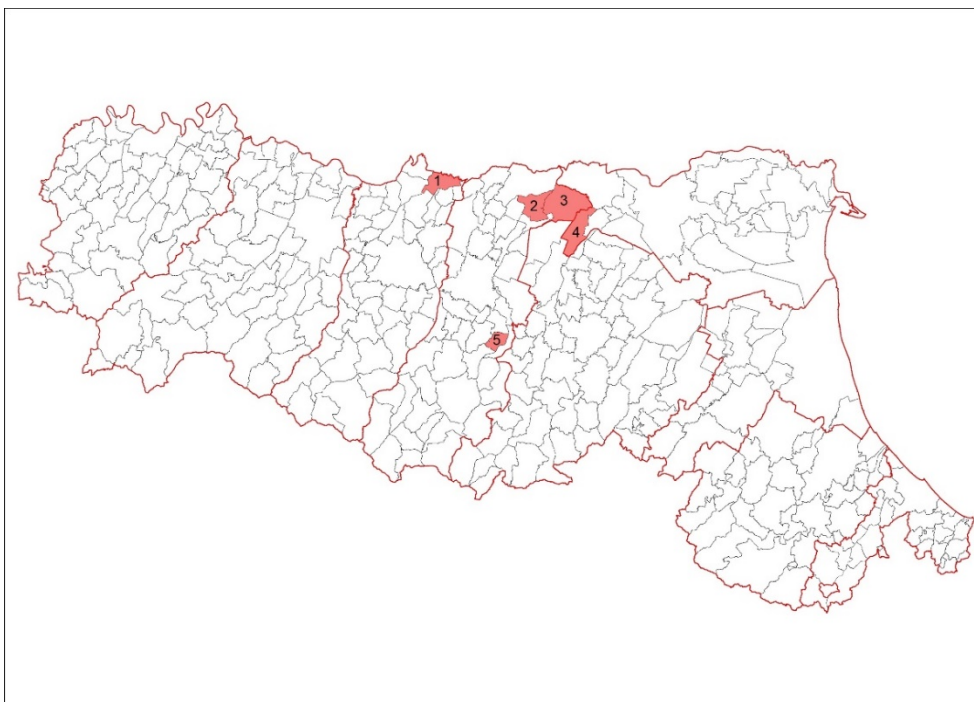


Figura 2 - Campiti in rosso i Comuni di appartenenza dei casi di studio da approfondire. Sono contrassegnati con il n. 1 Reggiolo (RE), n. 2 San Felice sul Panaro (MO), n. 3 Finale Emilia (MO), n. 4 Cento (FE) e n. 5 Vignola (MO).

CASI DI STUDIO: COORDINATE GEOGRAFICHE			
ROCCA	INDIRIZZO	LATITUDINE (N)	LONGITUDINE (E)
Rocca di San Felice sul Panaro	Via Giuseppe Mazzini, 28 San Felice sul Panaro (MO)	44° 50' 20.29"	11° 8' 32.97"
Castello delle Rocche	Piazza Antonio Gramsci, 2A Finale Emilia (MO)	44° 49' 58.88"	11° 17' 49.17"
Rocca di Vignola	Piazza dei Contrari, 4 Vignola (MO)	44° 28' 35.48"	11° 0' 37.22"
Rocca di Cento	Piazzale della Rocca Cento (FE)	44° 42' 42.89"	11° 18' 19.99"
Rocca di Reggiolo	Via IV Novembre Reggiolo (RE)	44° 51' 79.76"	10° 50' 57.48"

Figura 3 – Ubicazione e coordinate geografiche relativi i casi di studio selezionati.

⁶ Partendo dall'indirizzo di ciascun monumento, è stato possibile ricavare le coordinate riportate mediante l'ausilio di specifici *software*, come ad esempio quello scaricabile gratuitamente dal sito <http://www.coordinate-gps.it/>.

1.1.2 Classificazione sismica

L'Italia, a causa della particolare posizione geografica che occupa, tra la placca africana (spingente) e quella eurasiatica (compressa), è soggetta a fenomeni tellurici fin dai tempi molto antichi. È una delle nazioni mediterranee simicamente più vulnerabili: nel II millennio su milletrecento sismi distruttivi che hanno interessato l'intero continente europeo, più di cinquecento hanno colpito l'Italia, sette dei quali sono stati caratterizzati da una magnitudo superiore o uguale a 6.5. Inoltre i danni registrati nel bel paese in seguito ad un generico evento tellurico, sono molto amplificati rispetto al medesimo sisma registrato in un'altra nazione, a causa della fragilità dei monumenti storici e purtroppo anche degli edifici più recenti. Una piccola giustificazione va ricercata anche nella sottovalutazione e nell'oblio in cui vengono fatti cadere molto spesso gli effetti disastrosi dei sismi avvenuti precedentemente.

La pericolosità sismica del luogo⁷ è il primo parametro da tenere in considerazione per la determinazione delle azioni sismiche progettuali.

Solo il 45% del territorio italiano era considerato sismico, a partire dagli anni '80 e fino all'entrata in vigore del *PCM n. 3274/2003*.

Nel 2012 la classificazione dell'Emilia Romagna era quella contenuta nell'*Ordinanza del PCM n. 3274/2003 (Allegato 1)*, la quale suddivideva i Comuni della Regione in 4 categorie, secondo il grado di sismicità di ognuno di essi, partendo dalla Zona 1, la più pericolosa, nella quale possono verificarsi fortissimi terremoti, caratterizzata quindi da un alto livello di sismicità, fino ad arrivare alla Zona 4: la meno pericolosa simicamente, in quanto caratterizzata da sismicità molto bassa, nella quale i terremoti sono rari. La stima della pericolosità sismica delle aree è riferita ad una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni.

Tutti cinque i Comuni di appartenenza delle strutture fortificate oggetto di approfondimento, erano inclusi nella Zona 3: sismicità bassa, nella quale possono manifestarsi forti terremoti, ma rari⁸. Tali Comuni non erano quindi oggetto di particolari attenzioni da un punto di vista sismologico. La classificazione sismica aggiornata all'anno 2014, a cura della Protezione Civile, conferma l'appartenenza dei cinque Comuni di pertinenza dei casi di studio alla Zona 3.

Con l'entrata in vigore delle attuali Norme Tecniche per le Costruzioni⁹, è stato modificato il ruolo che aveva la classificazione sismica. Infatti mentre precedentemente per ogni territorio

⁷ NTC 2008, *Norme tecniche delle Costruzioni*, par. 3.2 Azione sismica.

⁸ La classificazione sismica italiana prevede la seguente suddivisione: ZONA 1 è la più pericolosa, nella quale possono verificarsi fortissimi terremoti; ZONA 2 è a media sismicità, vi si possono verificare forti terremoti; ZONA 3 è a bassa sismicità, possono verificarsi forti terremoti, ma rari; ZONA 4 è a sismicità molto bassa, è la meno pericolosa e i terremoti sono rari (cfr. http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/A3_class20140605.pdf, ultima consultazione 15 Febbraio 2015).

⁹ NTC 2008, *Norme tecniche delle Costruzioni*.

comunale veniva fornito un valore di accelerazione di picco e uno spettro di risposta elastico, attualmente per ogni costruzione ci si deve riferire ad un'accelerazione di riferimento propria, individuata sulla base delle coordinate geografiche dell'area di progetto. I valori di pericolosità di base quindi sono definiti per ogni punto del territorio nazionale, su una maglia quadrata di 5 km di lato, indipendentemente dai confini amministrativi comunali.

1.1.3 Eventi sismici del Maggio 2012

La sequenza sismica verificatasi nel Maggio 2012 ha interessato la Pianura Padana, in un'area corrispondente al confine meridionale della placca tettonica adriatica con quella degli Appennini settentrionali.

Gli effetti di questi eventi calamitosi sono stati ampiamente osservati e classificati anche in base alla loro distribuzione territoriale, all'andamento ed all'intensità. I beni architettonici monumentali e gli edifici produttivi hanno subito danni molto gravi, sia in termini strutturali sia purtroppo di vite umane. La ragione principale di questi disastri è da ricercarsi tra le caratteristiche intrinseche allo sciame sismico contemplato. La componente verticale dell'accelerazione sismica è stata infatti molto elevata: dello stesso ordine di grandezza dell'accelerazione gravitazionale, a fronte di una componente orizzontale molto meno elevata, portando molto spesso alla perdita totale o parziale di attrito¹⁰.

Per quanto riguarda la scossa verificatasi il giorno venti Maggio, alle ore 2:03:53 (UTC), di magnitudo 5.9 (Ml), è stato individuato l'epicentro con coordinate topografiche pari a 44,89° (latitudine N) e 11,23° (longitudine E). Il Comune più vicino all'epicentro è quello di Finale Emilia (MO), il quale dista meno di 10 km dal punto appena descritto.

La pericolosità tellurica di quest'area risulta relativamente bassa; dalle informazioni storiche contenute nei cataloghi sismici non si evincono eventi significativi nel raggio di 30-40 km dall'epicentro citato, anche se a maggiore distanza, a settentrione dell'Appennino, sono stati registrati alcuni sciame storici di magnitudo inferiore a 6.0¹¹.

In realtà, sebbene l'area sismogenica in oggetto non evidenzia un'attività molto frequente, presenta alcuni terremoti significativi nelle zone adiacenti, tra il modenese e il ferrarese. In particolare, nel 1570 la città di Ferrara fu colpita da un evento sismico simile a quello sopra descritto, causando danni fino all'ottavo grado Mercalli (MCS). Nel 1639 si verificò un altro sisma storico di interesse: l'epicentro fu collocato anche allora nei pressi di Finale Emilia, ove produsse effetti del VII-VIII grado MCS¹². Nei giorni successivi sono state registrate centinaia di scosse di assestamento, fortunatamente di bassa magnitudo¹³.

¹⁰ Carydis P., Castiglioni C., Drei A., Kostaki I., Lebesis N., Lekkas E., *The Emilia Romagna, May 2012 earthquake sequence. The influence of the vertical earthquake component and related geoscientific and engineering aspect*, in "Ingegneria sismica", Anno XXIX, n. 2-3, pp. 39-41.

¹¹ http://terremoti.ing.it/images/ultimi-eventi2012/comunicato_1d_ingv_modena5.9.pdf, ultima consultazione 23 Agosto 2013.

¹² http://terremoti.ing.it/images/ultimi-eventi2012/ingv_comunicato4_modena.pdf, ultima consultazione 23 Agosto 2013.

¹³ http://terremoti.ing.it/images/ultimi-eventi2012/ingv_comunicato5b_modena.pdf, ultima consultazione 23 Agosto 2013.

Il terremoto delle ore 7:00:03 (UTC) del giorno 29/05/2012 (fig. 4), di magnitudo 5.8 (ML), è avvenuto verso Est rispetto alla fascia che si era attivata con l'evento del 20 Maggio. Le coordinate registrate dell'epicentro sono 44,85° (latitudine N) e 11.09° (longitudine E). In questo caso i Comuni più vicini all'epicentro sono: Camposanto (MO), Cavezzo (MO), Medolla (MO), Mirandola (MO), San Felice sul Panaro (MO), San Possidonio (MO) e San Prospero (MO). La fascia sopra citata evidenzia un allargamento della zona attiva fino alla provincia di Reggio Emilia, con un'estensione totale di ben quasi 50 km¹⁴.

EMILIA ROMAGNA: SEQUENZA SISMICA 2012					
DATA	ORA (UTC)	LATITUDINE (N)	LONGITUDINE (E)	PROFONDITA' (km)	MAGNITUDINE (ML)
20-05-2012	2:03:53	44.89	11.23	6.3	5.9
29-05-2012	7:00:03	44.85	11.09	10.2	5.8
29-05-2012	10:55:57	44.89	11.01	6.8	5.3
29-05-2012	11:00:25	44.879	10.947	5.4	5.2
03-06-2012	19:20:43	44.899	10.943	9.2	5.1
20-05-2012	13:18:02	44.831	11.49	4.7	5.1
20-05-2012	2:07:31	44.863	11.37	5	5.1
29-05-2012	11:00:02	44.873	10.95	11	4.9
20-05-2012	3:02:50	44.86	11.1	10	4.9
20-05-2012	2:06:30	44.886	11.189	7.7	4.8
29-05-2012	8:27:23	44.854	11.106	10	4.7
29-05-2012	8:25:51	44.901	10.943	3.2	4.5
20-05-2012	17:37:14	44.88	11.38	3.2	4.5

Figura 4 – Descrizione delle principali scosse appartenenti allo sciame sismico del Maggio 2012.

¹⁴ http://terremoti.ing.it/images/ultimi-eventi2012/comunicato_2_ingv_29maggio.pdf, ultima consultazione 23 Agosto 2013.

1.2 La normativa antisismica italiana dal 1900 a oggi

Il quadro normativo italiano relativo agli edifici in zona sismica, è tanto vecchio quanto complicato. Ogni importante evento tellurico che ha colpito la penisola infatti è stato seguito dall'entrata in vigore di un'abbondante legislazione in materia.

Già precedentemente all'Unità d'Italia sono state promulgate normative in merito.

L'insieme di norme può essere suddiviso in quattro gruppi, facendo riferimento al periodo di emanazione ed alle finalità.

La prima generazione comprende l'insieme di leggi emanate fino agli anni sessanta. Trattasi di norme puramente prescrittive, le quali non fornivano indicazioni in termini quantitativi, ma esclusivamente qualitativi. Erano tese a garantire un corretto funzionamento strutturale, mediante alcuni accorgimenti da seguire, come ad esempio la regolarità della struttura, la riduzione dell'eccentricità tra baricentro delle masse e quello delle rigidezze, ecc. Facevano riferimento quasi esclusivamente ad edifici in muratura.

A seguito del disastroso terremoto che colpì lo stretto di Messina nel 1908, venne emanata la prima serie di decreti, inerente solo i territori già colpiti da eventi sismici importanti.

Le principali norme di prima generazione sono:

- R.D. n.193 del 18 aprile 1909 (pubblicato nella G.U. n. 95 del 22 aprile 1909) - *“Norme tecniche ed igieniche obbligatorie per le riparazioni, ricostruzioni e nuove costruzioni degli edifici pubblici e privati nei Comuni colpiti dal Terremoto del 28 dicembre 1908 o da altri precedenti, elencati nel R. decreto del 18 aprile 1909”*, da considerare come la prima normativa sismica italiana.
- D.L.L. n.1526 del 05 novembre 1916 (pubblicato nella G. U. n. 270 del 17 novembre 1916) - *“Testo unico delle disposizioni legislative emanate in dipendenza del terremoto del 28 dicembre 1908”*, spiega per la prima volta come quantificare l'azione sismica.
- R.D.L. n.431 del 13 marzo 1927 (pubblicato nella G.U. n. 82 del 08 aprile 1927) – *“Norme tecniche ed igieniche per le riparazioni, ricostruzioni e nuove costruzioni degli edifici pubblici e privati nei comuni o frazioni di comune dichiarati zone sismiche”*, comprendente la prima zonazione sismica.
- R.D.L. n. 640 del 25 marzo 1935 (pubblicato nella G.U. n.120 del 22 maggio 1935) – *“Nuovo testo delle norme tecniche di edilizia con speciali prescrizioni per le località colpite dai terremoti”*, illustra il calcolo dell'azione sismica, come se si trattasse di forze orizzontali proporzionali al peso di ogni piano, con coefficiente da scegliere secondo la categoria sismica del sito.
- L. n.1684 del 25 novembre 1962 (pubblicata nella G.U. n.326 del 22 dicembre 1962) – *“Provvedimenti per l'edilizia, con particolari prescrizioni per le zone sismiche”*, contiene le modalità di calcolo per forze orizzontali aventi qualsiasi direzione.

Le norme di seconda generazione sono quelle in vigore nell'arco temporale che va dall'inizio degli anni sessanta fino agli anni novanta. Sono direttive con approccio prestazionale, tese ad evitare il solo collasso delle strutture, nel caso di eventi tellurici molto forti. La valutazione della resistenza proposta si basa sul metodo delle tensioni ammissibili e viene fatto riferimento a periodi di ritorno lunghi, dell'ordine di cinquecento anni.

Le principali norme di seconda generazione sono:

- L. n. 64 del 2 febbraio 1974 (pubblicata nella G.U. n.76 del 21 marzo 1974) – *“Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche”*, per la prima volta viene tenuta in considerazione l'amplificazione dell'azione sismica dovuta alla tipologia di sottosuolo presente.
- D.M. n.40 del 03 marzo 1975 (pubblicato nella G.U. n.93 del 08 aprile 1975) – *“Approvazione delle norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche”*, permette di studiare la struttura in regime dinamico. Introduce lo spettro di risposta del progetto in termini di accelerazione sismica e tiene conto dell'amplificazione dell'azione sismica sulla base del periodo di vibrazione fondamentale della struttura, in rapporto alle capacità dissipative di quest'ultima.
- D.M. 24 gennaio 1986 (pubblicato nella G.U. n.108 del 12 maggio 1986) – *“Norme tecniche relative alle costruzioni antisismiche”* e D.M. 16 gennaio 1996 (pubblicato nella G.U. n.29 del 05 febbraio 1996) – *“Norme tecniche relative ai criteri generali di verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi”*, entrambi forniscono regole di progetto specifiche per le varie tipologie progettuali.
- Circolare Ministero dei Beni Culturali 18 luglio 1986 – *“Interventi sul patrimonio monumentale in zone sismiche”*.

Il terzo gruppo comprende le norme emanate a partire dalla fine degli anni novanta fino al 2003. Sono disposizioni a doppio livello prestazionale: tendono ad evitare sia il collasso della struttura sia la perdita di funzionalità da parte di quest'ultima. I periodi di ritorno presi in considerazione sono più brevi, rispetto quelli contemplati dalle norme di seconda generazione, e viene introdotto il metodo semiprobabilistico agli Stati Limite. La risposta che una struttura è in grado di fornire, viene calcolata tenendo in considerazione le capacità dissipative di quest'ultima. Inoltre forniscono le prime regole tese a garantire la duttilità strutturale.

Le principali norme di terza generazione sono:

- OPCM n. 3274 e ss.mm.ii. del 20 marzo 2003 (pubblicata nella G.U. n.72 del 08 maggio 2003) – *“Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”*.
- Eurocodice 8: progettazione delle strutture per la sicurezza sismica.

Le norme di ultima generazione invece comprendono tutti i provvedimenti adottati dal 2003 in poi. Sono disposizioni prestazionali e multi-livello, prescrivono l'esclusivo utilizzo del metodo semi-probabilistico agli stati limite. A ciascun livello di sicurezza viene collegata un'azione sismica differente, caratterizzata da diverse probabilità di accadimento.

Le principali norme di quarta generazione sono:

- D.M. 14 gennaio 2008 (pubblicato nella G.U. n.29 del 04 febbraio 2008) – “*Norme tecniche per le costruzioni*”.
- Circolare n. 617 del 2 febbraio 2009 (pubblicata nella G.U. n. 47 del 26 febbraio 2009) – “*Istruzioni per l'Applicazione Nuove Norme Tecniche Costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008*”.
- D.P.C.M. 9 gennaio 2011 (pubblicato nella G.U. n.54 del 26 febbraio 2011) – “*Linee guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale tutelato, con riferimento alle NTC 2008*”.
- Eurocodice 8: progettazione delle strutture per la sicurezza sismica, versione definitiva.

La continua emanazione di norme antisismiche nel tempo è stata accompagnata e resa possibile da un parallelo percorso di studi scientifici, i cui risultati sono maturati solo in anni recenti.

Gli aspetti statici delle strutture in muratura sono stati trascurati a lungo in passato, a scapito della comprensione di aspetti strutturali¹⁵. Ogni evento sismico ha riproposto problematiche dimenticate, evidenziando le lacune che si erano create nella conoscenza del comportamento strutturale dell'edilizia storica. Infatti la risposta all'azione sismica è già impressa, per la maggior parte dei manufatti, nelle proprie strutture, quindi la conoscenza storica del comportamento sismico delle varie tipologie edilizie costituisce il primo elemento per la progettazione di interventi di restauro. L'attenzione degli esperti era focalizzata in passato sui cinematismi globali del manufatto e si è spostata, in tempi più maturi, sui meccanismi locali. L'approccio cinematico basato sull'esperienza dei dissesti presuppone una rivalutazione delle conoscenze empirico-sperimentali e riduce le difficoltà di comprensione del comportamento strutturale.

Altra pietra miliare lungo lo sviluppo della normativa in materia è costituita dalla distinzione tra edifici tutelati e non, per quanto riguarda l'adeguamento sismico. Nei manufatti storici di interesse culturale risulta impossibile ottenere elevati livelli di sicurezza sismica, senza rischiare di danneggiare l'essenza stessa del bene. Per questo le normative più recenti escludono l'obbligo dell'adeguamento sismico negli edifici tutelati: non è necessario raggiungere gli stessi valori di resistenza richiesta per gli edifici di nuova costruzione, ma è sufficiente realizzare interventi che assicurino un miglioramento della stabilità complessiva.

¹⁵ C. Blasi, *Architettura storica e terremoti. Protocolli operativi per la conoscenza e la tutela*, Wolters Kluwer Italia, Milanofiori Assago, 2013, p. 3.

Un concetto centrale della normativa attuale, e in particolar modo delle Linee Guida, è costituito dal percorso di conoscenza del manufatto. Esso è da intendersi come un'indicazione operativa: esorta i progettisti a scegliere gli interventi più opportuni, da valutare caso per caso, in funzione dell'unicità di ciascun monumento, non completamente descrivibile attraverso valori numerici. La vera grande differenza tra progettare un edificio nuovo e operare su uno esistente sta proprio nella conoscenza di tutte le istanze storiche, costruttive, strutturali ed estetiche che caratterizzano quest'ultimo.

Attualmente, alla luce della normativa vigente in materia, la valutazione della sicurezza di un manufatto storico è considerata quindi come un giudizio qualitativo, prodotto dall'analisi di tanti fattori, tra i quali il valore del bene e l'inaffidabilità di considerare esclusivamente valori numerici.

II CAPITOLO

IL PERCORSO DI CONOSCENZA DELLE STRUTTURE FORTIFICATE EMILIANE COLPITE DAL SISMA

2.1 Nascita e sviluppo delle strutture fortificate in area padana

2.1.1 Storia delle strutture fortificate

“[...] Caduto l’Impero Romano che, per secoli e secoli, aveva condizionato e cadenzato la storia del mondo mediterraneo, frantumati e malamente ricomposti i pochi residui della sua organizzazione e di quegli stessi suoi quadri direttivi che [...] avevano reagito o avevano assecondato il lento sfacelo, poco o nulla riescono a rabberciare coi frantumi residuati dal crollo, [...] inizia [...] l’avvento o la faticosa costituzione delle più elementari unità collettive sociali e difensive (cinte murate, recetti ecc.) [...]”¹⁶.

Con la caduta dell’impero Romano e la crisi socio-politica che ne derivò, si assistette quindi all’affermarsi di numerosissime nuove unità istituzionali. La scomparsa di un valido potere centralizzato, portò ad un continuo stato di guerra di tutti contro tutti, rendendo necessarie opere difensive, sia a livello territoriale, per arginare i nemici, sia a livello locale, per sanare lotte intestine. In questo contesto storico affondano le proprie radici tutti i processi di incastellamento dell’Alto Medioevo.

In particolare, nel caso emiliano, nell’area compresa tra le propaggini dell’Appennino e il Ferrarese, l’incastellamento ebbe origine nel X secolo, in risposta alle invasioni degli Ungheri¹⁷.

Essendo l’area in esame un territorio pianeggiante, le strutture fortificate primordiali non si sono potute sviluppare sfruttando posizioni naturalmente forti, quali monti e rupi. Esse erano costruzioni molto semplici, costituite da *cinte murarie*¹⁸, le quali circondavano alcuni edifici adibiti a residenza e a magazzino per derrate alimentari o armi. Qualora fossero venute meno le esigenze difensive, queste primitive forme di fortificazione sarebbero scomparse molto rapidamente; viceversa qualora le esigenze difensive fossero aumentate, l’aggregato avrebbe sviluppato e accentuato maggiormente le caratteristiche prettamente difensive. Durante il XII secolo si assistette alla massima densità di

¹⁶ A. Cassi Ramelli, *Dalle caverne ai rifugi blindati*, Nuova Accademia Editrice, Milano 1964, pp. 83-84.

¹⁷ P. Belloi, E. Colombini, *Castelli della provincia di Modena*, Elis Colombini Editore, Modena 2001, p. 10.

¹⁸ La castelleologia è tra le discipline che presentano la maggior variabilità di espressione. Il prof. Carlo Perogalli ha introdotto il concetto di *castello recinto* (cfr. G. C. Bascapè, C. Perogalli, *Torri e castelli di Valtellina e Valchiavenna*, Edizioni Banca Piccolo Credito Valtellinese, Sondrio 1966, p. 114), con riferimento ai numerosi esempi di fortificazione medievale che attualmente si presentano con la sola *cinta muraria*, solitamente rinforzata da torri perimetrali, ed eventualmente una torre maestra, tuttavia altri studiosi definiscono il tipico *castello recinto* di Perogalli come un castello torre col suo piccolo recinto, in quanto si aspetterebbe di trovare, come risultato di indagini archeologiche, i resti di edifici, in legno o in muratura, all’interno del recinto.

strutture fortificate e oggi sono pochi i castelli emiliani che non esibiscono qualche elemento di quest'epoca tanto remota.

Il meccanismo di difesa primordiale emiliano si imperniava sull'anello di protezione, all'occorrenza allagabile. Questa tecnica, inconsueta in territori provvisti di vicine cave di pietra, era resa possibile grazie ad operazioni di scavo e riporto, ripetute continuamente per permettere sia la costruzione che la successiva manutenzione di arginature, molto frequenti in un territorio così tanto condizionato dalla regimazione delle acque, da richiedere in alcuni punti opere di bonifica per lo sfruttamento ed il controllo dei traffici fluviali.

I *recinti difensivi* in molti casi comprendevano anche una *torre centrale*, elemento di avvistamento e segnalazione, nonché di maggior resistenza, che dominava l'intero complesso difensivo. Essa era solitamente di dimensioni ridotte rispetto le torri che si svilupperanno in seguito, munita di un accesso a vari metri di altezza, raggiungibile mediante una scala in legno retrattile. Ad oggi non ci sono pervenute tracce delle cinte difensive, ma le torri, in molti casi, si sono conservate e costituiscono la parte più antica di roccaforti sviluppatesi in seguito. Quindi molto probabilmente le cinte murarie erano costruite in fretta, per arginare l'attacco, utilizzando materiali degradabili, viceversa per la costruzione delle torri probabilmente venivano messi in opera elementi meno vulnerabili all'azione del tempo, prestando particolare attenzione anche alle modalità di posa in opera.

Con il passare del tempo, anche in area emiliana, le costruzioni fortificate si arricchiscono e si complicano. Un'evoluzione di questo schema difensivo è rappresentata dalla messa in opera di torri anche lungo la cinta muraria. La disposizione delle *torri perimetrali* non avveniva in maniera casuale, ma era calcolata in funzione della gittata media di balestre ed archi (fig. 5). Le torri dovevano assicurare quindi la difesa delle torri più vicine e del tratto di mura tra di esse compreso.

Secondo le considerazioni appena esposte è quindi possibile dedurre che le torri costituivano il punto di forza di tutto il sistema difensivo: venivano collocate a protezione delle porte di accesso e di tutti gli altri punti più deboli. Il collegamento tra questi elementi a prevalente sviluppo verticale era assicurato da portoncini e passerelle lignee, facilmente ritirabili in caso di pericolo.

Lo sviluppo delle strutture fortificate comporta la messa a punto di apparati di difesa sempre più efficaci. Il più comune di questi era *l'apparato a sporgere*, che consentiva ai difensori di colpire dall'alto delle mura, senza sporgersi dal parapetto e quindi evitando l'esposizione alle armi nemiche.

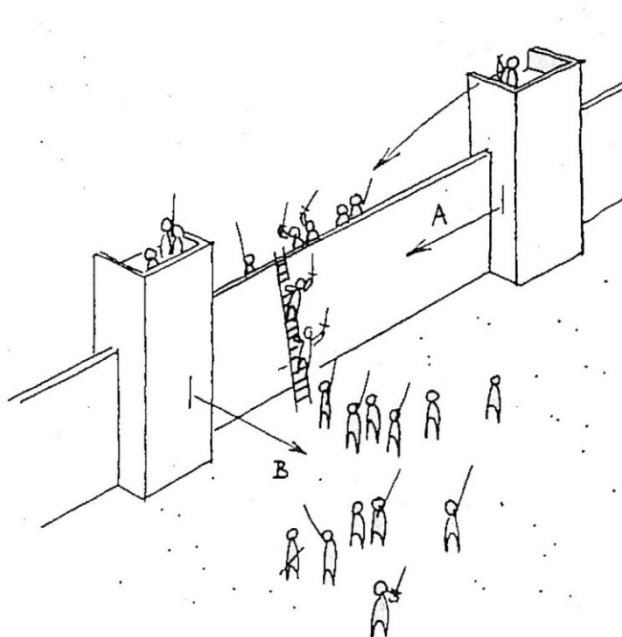


Figura 5 – Disposizione delle torri perimetrali, in funzione della gittata.

“[...] Con il termine generico di “apparato a sporgere” nell’architettura fortificata s’intende un elemento edilizio costruito in legno o in muratura che “sporge” dall’alto [...] dal profilo della muratura di perimetro. [...] Prevalentemente viene usato per difesa (sporgere per gettare roba dall’alto), di una muratura o di una torre, ma anche per vedere meglio dall’alto (traguardare visivamente) cosa succede in basso [...] o per offendere con tiri di freccia o di balestra. [...] Gli “apparati” si usavano imbastiti su mensole di legno predisposte nella muratura (gattoni) in legno o in pietra per allargare il camminamento sullo spessore della muratura e molte volte a cielo aperto o in altre coperti da pelli fresche o da veri e propri tetti (travi-correnti con manto in legno o a coppi e tegoli). Questa necessità di vedere dall’alto e di offendere (gettare roba) oltre il profilo della muratura è in generale una caratteristica dell’architettura fortificata medioevale, (già nell’antichità) perderà di importanza funzionale (non formale) in quella di transizione [...]”¹⁹.

Di solito veniva sfruttato lo spessore murario elevato, nella parte alta delle torri e degli edifici, per realizzare un camminamento pedonale, spesso protetto da un parapetto, al fine di vedere e offendere meglio chi si avvicinava in basso e risolvere vari problemi di offesa.

Altro mezzo di difesa è costituito dalle *caditoie*, botole lungo il cammino di ronda, che si aprivano per poter gettare sul nemico ogni tipo di proiettile. I *merli* invece offrivano riparo dal tiro del nemico. Anche le *ventiere* avevano lo stesso obiettivo, ma essendo costituite da portelloni lignei incernierati, collocati tra un merlo e l’altro, non ci sono pervenuti esemplari, anche se in alcuni casi è possibile ancora oggi vedere i fori utilizzati per posizionare le cerniere (fig. 6).

¹⁹ D. Taddei (a cura di), *Le parole del Castello*, Edizioni PLAN, Loreto (AN) 2004, pp. 24-25.

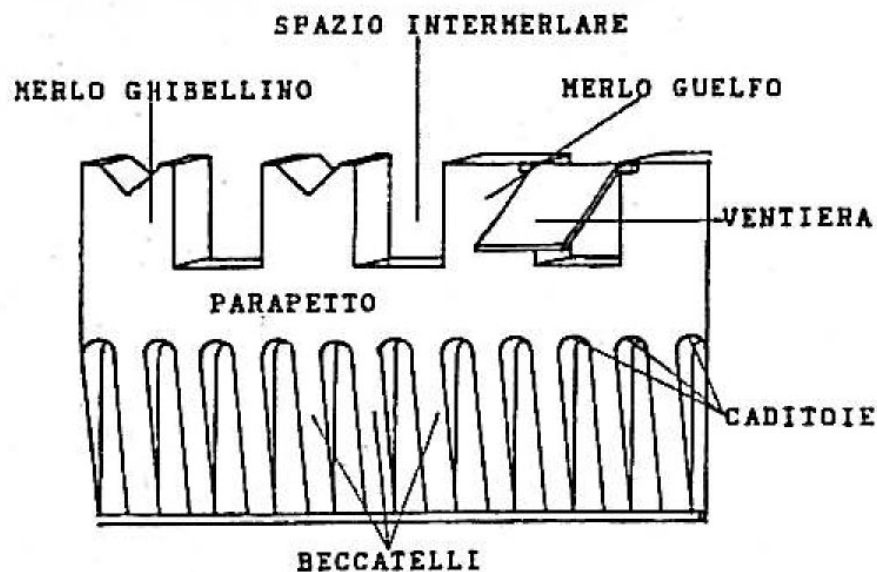


Figura 6 – Apparato a sporgere.

Gli accessi rappresentavano punti molto vulnerabili. Spesso le porte di ingresso venivano rafforzate aggiungendo un'*anteporta*, ma l'innovazione più grande è rappresentata dai *ponti levatoi*, introdotti nel XII sec. (fig. 7).

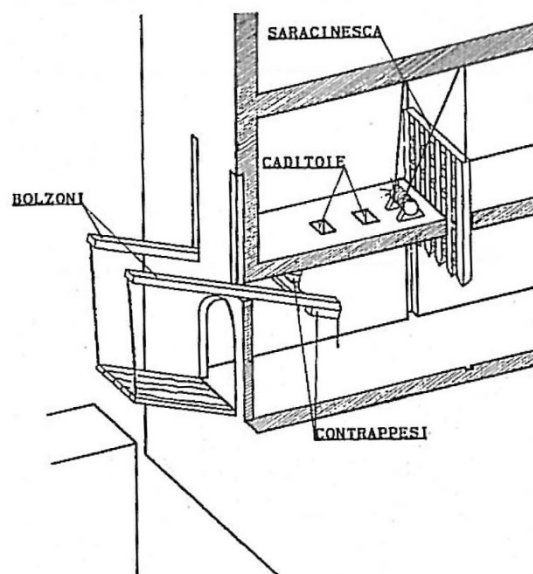


Figura 7 – Ponti levatoi e presidi difensivi connessi.

L'architettura militare Padana è intrinsecamente connessa alla Signoria Estense, la quale rappresentò una grandiosa committenza per le fortificazioni emiliane medievali²⁰. Dapprima essa fece costruire un numeroso campionario di castelli medievali ed in un secondo momento promosse uno degli aggiornamenti di architettura militare tra i più celebri in Europa.

²⁰ Appartengono al ciclo estense le *rocche* ubicate a Finale Emilia, San Felice sul Panaro, Nonantola, Modena, Cento e Pieve di Cento.

Per il castello inteso come fastosa dimora signorile ovvero come piccola corte, occorre aspettare il XIII-XIV secolo, anche se a partire dal XII secolo iniziano a diffondersi fortificazioni con uso residenziale.

2.1.2 Edifici difensivi nell'epoca di transizione

A partire dai primi decenni del XIV secolo un programma di adattamenti ed innovazioni interessò le strutture fortificate, l'incremento della capacità distruttiva sia dei mezzi di attacco che di quelli di difesa, provocò durante il secolo successivo un vistoso arricchimento delle opere fisse di tutela.

Secondo Cassi Ramelli “[...] non è facile riassumere la trasformazione subita dalla tecnica della difesa e il lento risolversi di tante improvvisazioni, non sempre valutabili chiaramente e non mai costantemente delineate. Probabilmente la dura esperienza di ogni giorno procurò gradualmente la conoscenza del problema e formulò simultaneamente le prime nozioni per uscirne fuori e per risolverlo secondo un lento e faticoso non rettilineo cammino evolutivo [...]. Nei primi tempi non furono molte le fortezze che ebbero la intera loro cinta ricostruita secondo le nuove teorie [...] sotto la spinta immediata si cominciò dapprima a rafforzare [...] le vecchie cinte con l'aggiunta di baluardi o torrioni d'angolo (per lo più tondi) o con altri – per lo più rettangolari – disposti a metà delle cortine già esistenti e non più ritenute efficaci [...]”²¹.

I perfezionamenti dell'artiglieria a polvere misero fine alla situazione di stallo che per secoli aveva visto la difesa prevalere sull'offesa.

“[...] Nel Quattrocento e fino ai primi decenni del Cinquecento le armi da fuoco aumentano gradualmente di importanza quantitativa e di efficacia, sia per i miglioramenti tecnici [...], sia per progressi organizzativi che ne fanno scendere il costo di acquisto e di esercizio, sia per innovazioni finanziarie che rendono disponibili alle grandi potenze dell'epoca somme di denaro in precedenza impensabili. Lo spartiacque storico che probabilmente scuote di più i progettisti europei è forse proprio la caduta di Costantinopoli di fronte alle artiglierie di Maometto II, mentre le più poderose mura della città non possono reggere, a detta dei testimoni, le sollecitazioni indotte dallo sparo dei pezzi che sarebbero necessari per fronteggiarle. [...] Gli ingegneri militari esplorano nuove forme difensive che possano resistere ai colpi delle artiglierie assedianti (difesa passiva) e sfruttino al meglio le nuove armi ai fini della difesa (difesa attiva). Si forma così uno stato di equilibrio transitorio, che talvolta convive con sopravvivenze ancora gotiche e che viene definito “la Transizione”. Questa copre gli ultimi decenni del Quattrocento ed i primi del Cinquecento finché viene sostituita dalla “fortificazione bastionata” [...]”²².

Gli architetti cercarono quindi di trovare soluzioni adeguate alla situazione, i primi progetti non rappresentarono vere e proprie innovazioni, ma un potenziamento di elementi architettonici già diffusi: non si abbandonano o distruggono le strutture fortificate già esistenti, ma si rinforzano e si

²¹ A. Cassi Ramelli, *op. cit.*, pp. 327-328, 338.

²² D. Palloni, *Le rocche della transizione. Cause, origini, forme e modi*, in M. Righini (a cura di), *Per la mia Fé: castelli e arte militare in area estense tra Medioevo e Rinascimento: atti della giornata di studio, sabato 26 Settembre 2009, Finale Emilia, Palazzo Comunale*, Gruppo Studi Bassa Modenese, San Felice sul Panaro (MO) 2010, p. 109.

ingrandiscono per far fronte alle mutate esigenze. Ad esempio l'apparato a sporgere, anziché essere costruito, come in passato, solo nei punti critici del perimetro difensivo, iniziò ad essere presente in tratti perimetrali più cospicui. Le torri esistenti in molti casi sono state cimate perché troppo esposte al tiro e pericolose in caso di crollo. Nelle parti basamentali le torri vennero spesso rinforzate attraverso terrapieni o puntellazioni e contrafforti interni.

“[...] Nel corso del XV secolo le armi da fuoco aumentano gradualmente di efficacia: fortificazioni fin'allora considerati imprendibili non sono più in grado di protrarre per tempi ragionevoli la propria resistenza di fronte ad un nemico ben organizzato e provvisto di adeguato parco d'assedio. Gli ingegneri militari escogitano per tentativi le forme, le dimensioni e gli accorgimenti ottimali a mantenere la necessaria funzionalità difensiva ai fortificazioni, ciascuno ispirandosi anche al realizzato degli altri e in dialettica con i capitani e i signori della guerra. Si sviluppa così una famiglia di forme nuove intermedia tra la fortificazione medievale ed il successivo fronte bastionato all'italiana, come in Europa viene comunemente definito: il periodo nel quale si svolge questo processo di cambiamento viene definito “il Transito” ed ora più comunemente “la Transizione” e in maniera puramente convenzionale Taddei lo delimita tra le date del 1453 (caduta di Costantinopoli) e del 1534 (inizio della “Fortezza da Basso” a Firenze da parte di Antonio da Sangallo il Giovane, nella quale l'uso del bastione giunge a piena maturità) [...]. L'adeguamento dei fortificazioni al nuovo stato di cose [...] nasce, a ben guardare, già nel XIV secolo, con l'introduzione delle bombardiere [...]. Negli ultimi tre decenni del secolo si raggiunge un breve stato di equilibrio transitorio con una tipologia particolarmente diffusa in Romagna [...]. In estrema sintesi le nuove forme prevedono torrioni cilindrici di limitata altezza, abbondanti scarpe, relevantissimi spessori murari [...] e soprattutto si pone nuova enfasi sulla difesa attiva [...]. L'uso del mastio viene mantenuto ed anzi ulteriormente razionalizzato ed anche l'apparato a sporgere è sempre utilizzato. Nelle rocche più evolute gli ingressi perdono la complessità medievale, perché la loro difesa è affidata quasi sempre ad un antistante rivellino [...]”²³.

“[...] Nella seconda metà del XV secolo l'Italia si porta all'avanguardia della tecnica fortificatoria. Appare un effimero - dal 1460 al 1500 circa - “stato di equilibrio transitorio” col tipo della rocca [...]”²⁴.

Nacque quindi uno specifico tipo di fortificazione, denominato *rocca*²⁵. Lo sviluppo della rocca è legato all'utilizzo dell'artiglieria da parte degli assediati: le vecchie torri soppalcate in legno si dimostrarono troppo fragili per le sollecitazioni provocate dallo sparo e non avrebbero consentito agevoli movimenti di carico. La *rocca* è adibita quasi esclusivamente a scopi militari, anche se a partire dalla metà del XV secolo, la maggior parte delle fortificazioni ad esclusiva funzione militare divennero

²³ D. Palloni, *La transizione*, in M. Mauro (a cura di), *Rocche e bombarde fra Marche e Romagna nel 15. Secolo*, Adriapress, Monreale 1995, pp. 12-15.

²⁴ http://www.icastelli.org/evoluzione/la_transizione/la_transizione.htm, ultima consultazione 04 Marzo 2017.

²⁵ “[...] Oltre il perfezionamento dell'artiglieria, furono le condizioni politiche dell'Italia quattrocentesca a determinare un propizio campo di sperimentazione nella costruzione di rocche e castelli e nelle fortificazioni [...]”. (Cfr. M. Mallet, *Signori e mercenari - La guerra nell'Italia del Rinascimento*, Il Mulino, Bologna 1983, p.169).

lussuose residenze signorili. L'evoluzione degli apprestamenti difensivi cambiò pian piano l'aspetto sia estetico che strutturale delle fortificazioni.

Con il termine *rocca* si intende un edificio militare a pianta quadrata o rettangolare, o più genericamente simmetrica, che agli angoli perimetrali ha grosse torri rotonde, di altezza pari a quella delle mura, dotate di forte scarpatura e di un *apparato a sporgere* (*merli*, *beccatelli* e *caditoie*), esteso lungo tutto il perimetro difensivo. I torrioni a pianta circolare offrivano numerosi vantaggi rispetto alle torri a pianta quadrata: per gli assediati infatti era maggiore sia il campo di tiro che la resistenza all'impatto dei proiettili. Questi ultimi risultavano efficaci solo se indirizzati verso il diametro, viceversa in caso avessero colpito altri punti, venivano deviati dalla superficie sfuggente. Le torri a pianta circolare erano meno vulnerabili in quanto non possedevano angoli, sinonimo di debolezza (fig. 8). Le tradizionali torri a pianta quadrangolare determinavano infatti, in corrispondenza delle parti basamentali delle cortine murarie, due triangoli molto pericolosi, in quanto coperti alla vista dei difensori. Per ridurre ulteriormente la vulnerabilità delle torri, la distanza tra due torri consecutive era maggiore rispetto quella tra due torri perimetrali tradizionali.

Molta importanza nella resistenza degli elementi difensivi, oltre ovviamente alla qualità dei materiali messi in opera, aveva la profilatura balistica o resistenza di forma. Ad esempio i merli, se costruiti con le stesse caratteristiche del passato, sarebbero risultati del tutto inadeguati alle mutate esigenze difensive. Per questo vennero riadattati e sostituiti nelle torri rotonde da altri ripari, più spessi e sfuggenti. Anche i ripari in legno risultavano ora troppo poco resistenti alle armi da fuoco di ultima generazione.

Questa tipologia difensiva rappresenta il perfezionamento dei sistemi di difesa medievali, ma si rivelò insufficiente: non conobbe grande fortuna e così come rapidamente si diffuse, altrettanto velocemente venne abbandonata. Nacque e scomparve in solo mezzo secolo, lasciando poi posto ad un nuovo modo di difendersi: il fronte bastionato, a partire dall'inizio del XVI secolo.

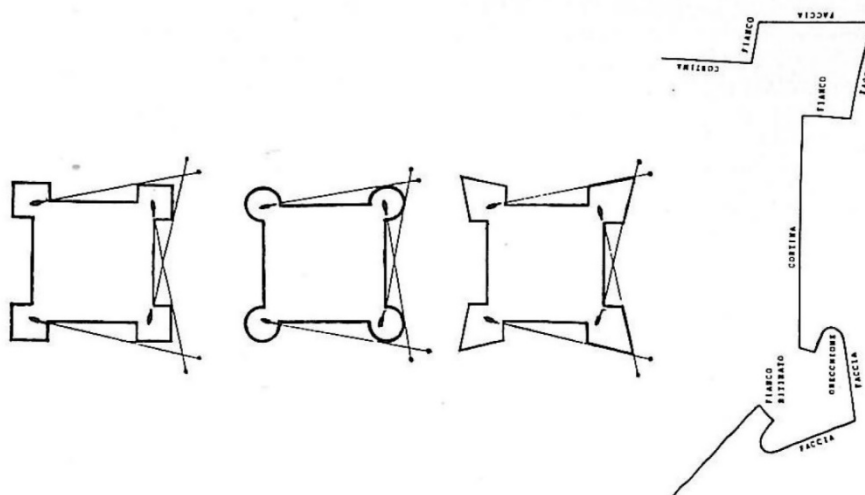


Figura 8 – Schematizzazione dei rapporti intercorrenti tra angoli di lancio e planimetria delle torri

2.2 Materiali e tecniche costruttive nelle rocche emiliane del XIV-XV sec. in ambito padano

Sono pochi e di facile reperibilità, nell'area di indagine, i materiali utilizzati per costruire le rocche prese in considerazione: laterizi e pietra, come elementi da mettere in opera, sabbia e fango, come leganti, e legno per realizzare strutture di copertura, impalcati, portoni, ponti lignei, ventiere, bertesche, *hourds*, *hourdage*²⁶ e altri presidi difensivi.

I materiali da costruzione non venivano selezionati soltanto per precise volontà costruttive o estetiche, ma soprattutto per motivi di economia legati a cause contingenti al cantiere e per le capacità tecniche delle maestranze²⁷.

L'importanza dello studio condotto risiede nel capire le differenti modalità di posa in opera dei materiali sopra elencati, le quali hanno permesso di costruire, pur utilizzando le stesse materie prime, elementi totalmente eterogenei anche all'interno di un medesimo complesso fortificato²⁸.

Non è possibile comprendere la risposta che un edificio offre agli eventi sismici senza conoscerne i materiali messi in opera e la morfologia delle sezioni costruttive.

Nell'infinita varietà di tratti costruttivi rilevabili, sono stati individuati e presi in considerazione esclusivamente quelli più rilevanti ed indagabili più approfonditamente²⁹. Un forte limite nella scelta delle sezioni di studio risiede nell'impossibilità di effettuare prove distruttive o prelievi di materiale per prove di laboratorio o prove *in situ*. L'indagine è stata quindi limitata ad alcuni siti ritenuti particolarmente significativi³⁰, al fine di mostrare le specifiche peculiarità delle tecniche costruttive. Per giungere ad una comprensione esaustiva delle caratteristiche costruttive, evitando il rischio di letture parziali e limitate ad una meccanica schedatura di dati tecnici, lo studio ha cercato da una parte di interpretare le peculiarità delle modalità di messa in opera congiuntamente alle logiche di costruzione dell'edificio e dall'altra di stabilire confronti e parallelismi tra gli apparecchi riscontrati, tramite la parametrizzazione dei loro caratteri distintivi più importanti.

Per poter confrontare gli indici di valutazione relativi ai diversi esemplari, si è cercato di omogeneizzare in un primo tempo i criteri di campionamento ed in un secondo momento le modalità di quantificazione dei singoli parametri.

²⁶ “[...] apparati difensivi a sporgere in legno meglio note in ambito francese con il termine *hourds* e *hourdage* [...]” (cfr. A. Ugolini, *Il restauro delle mura del castello di San Clemente*, Alinea Editore, Firenze 2009, p. 43).

²⁷ D. Kimpel, *L'attività costruttiva nel Medioevo: strutture e trasformazioni*, in F. Aceto, M. Andaloro, R. Cassanelli, C. Freigang, D. Hochkirchen, D. Kimpel, S. Moralejo, K. J. Philipp, P. Sanvito, B. Schock-Werner, F. Zuliani, *Cantieri Medievali*, Jaca Book, Milano 1995, pp. 11-50.

²⁸ G. De Angelis D'Ossat, *Tecniche edilizie in pietra e laterizio*, in Centro italiano di studi sull'alto medioevo, *Artigianato e tecnica nella società dell'alto medioevo occidentale*, CINI, Spoleto 1971, pp. 545-582.

²⁹ Anche grazie agli spaccati messi in luce dagli eventi sismici del 2012.

³⁰ La trattazione di seguito riportata fa riferimento a cinque manufatti difensivi, selezionati tra tutte le strutture fortificate analizzate nel corso della presente ricerca, in quanto particolarmente significativi, e per i quali sono state in seguito elaborate ed allegate schede di sintesi.

Per quanto concerne gli alzati murari, si è iniziato individuando una scala di riferimento in grado di metterne in luce le caratteristiche costruttive principali: sono stati campionati elementi aventi base di 1,00 m ed altezza di 1,50 m. Si è proceduto dapprima studiando gli aspetti più importanti relativi ai vari materiali utilizzati (le caratteristiche dimensionali e la forma, individuata dal rapporto tra gli assi principali) ed alle modalità di assemblaggio dei paramenti (la superficie percentuale occupata dagli inerti e dalle malte). Successivamente si è cercato di correlare ciascun prospetto alla propria sezione costruttiva, riconoscendo il numero dei paramenti accostati, il loro grado di ammorsamento, la percentuale, la dimensione e la distribuzione dei vuoti in sezione, l'ingranamento tra le cortine. Infine è stata posta l'attenzione alla presenza di particolari accorgimenti costruttivi (come le buche pontae) e di legamenti trasversali, alle soluzioni angolari e così via.

Quindi tutte le informazioni ricavate, di fondamentale importanza per il raggiungimento dell'obiettivo finale di questa ricerca, non possono scaturire dalla sola osservazione del prospetto, ma dall'attento esame di tutti i dati rilevabili. I risultati ottenuti sono utili sia per la definizione della geometria e del comportamento meccanico, sia per modellazione e progettazione di possibili interventi.

È inevitabile che lo sforzo di sintesi necessario alla definizione di un quadro complessivo porti a privilegiare gli aspetti più immediatamente percettibili d'una struttura, favorendo, ad esempio, la lettura dei paramenti rispetto alla visione tridimensionale delle pareti, il confronto fra murature regolari piuttosto che irregolari (per le quali è necessario un maggiore affinamento della lettura analitica dei componenti), oppure il riscontro di caratteristiche figurative più che tecniche (come ad esempio la presenza di bicromia e di motivi decorativi), più facilmente leggibili sulla superficie della fabbrica.

Il lavoro condotto dovrebbe portare non alla stesura di un atlante dei paramenti murari, la cui definizione richiederebbe la presa in considerazione di un numero maggiore di esemplari, ma ad una selezione ragionata di modelli rappresentativi, utili ad inquadrare gli apparati costruttivi e ad offrire un primo vaglio alle possibili conclusioni critiche.

2.2.1 *Le murature in elevato*

Già dai sopralluoghi effettuati presso le tredici rocche catalogate, e come confermato successivamente dai rilievi realizzati presso i cinque casi prescelti, è stato possibile constatare che i laterizi formano gran parte delle fortificazioni in oggetto, costituendone sia la parte strutturale che difensiva. L'elevato murario gioca un ruolo specifico e dominante nella fabbrica: ne determina la configurazione spaziale, l'equilibrio statico, la matrice figurativa.

La natura costruttiva rimanda sia a ragioni materiali sia a motivazioni legate alla natura architettonica degli edifici. L'utilizzo prevalente del mattone rispetto al materiale lapideo è da giustificarsi con una maggiore economia complessiva del cantiere edile, in quanto reperire pietrame da costruzione all'interno della regione di indagine non era banale, ma anche per una migliore organizzazione della fabbrica produttiva. Infatti la morfologia dell'area geografica considerata influisce molto sulla disponibilità degli elementi da mettere in opera. La presenza di numerosi fiumi e di terreni argillosi, ad esempio, facilita l'approvvigionamento di acqua e argilla per la realizzazione di laterizi. Anche il pietrame utilizzato nei casi studio, seppur impiegato in percentuale nettamente inferiore rispetto ai mattoni, va correlato con i corsi di acqua: la loro forma arrotondata testimonia l'origine fluviale degli stessi.

Le strutture fortificate “[...] appaiono poco descritte dai documenti, il compito d’illustrarne il ruolo, il prestigio, le vicende storiche rimane affidato prevalentemente alle murature: è per tali ragioni che l’approfondimento conoscitivo e la loro difesa materiale assumono un’importanza basilare [...]”³¹ nella conoscenza dei manufatti.

Il nodo centrale della ricerca ha quindi riguardato il rilievo e l'analisi degli apparati costruttivi e la loro interpretazione storico-tecnica, basata sulla campionatura³² dei cinque siti fortificati prescelti e sul successivo studio della consistenza strutturale.

³¹ D. Fiorani, *Murature medievali in Italia, spunti di riflessione da una ricerca*, in D. Fiorani, D. Esposito (a cura di), *Tecniche costruttive dell'edilizia storica. Conoscere per conservare*, Viella, Città di Castello 2005, p. 32.

³² A partire dalla metà degli anni '80, si è sviluppato un metodo per l'analisi stratigrafica degli elevati che non si limita a studiare un singolo paramento murario, ma vuole documentare un intero edificio, utilizzando una gerarchia tra le unità di riferimento. Gli elementi architettonici e strutturali sono unità sovraordinate rispetto all'unità stratigrafica muraria. “[...] Quest’ultima era la base per costruire la sequenza stratigrafica, le unità di riferimento permettevano di descrivere la geometria dell’edificio, la sua struttura portante, i suoi elementi decorativi. [...] In queste categorie rientrano, da un lato, quelle che potremmo definire Unità strutturali (le Superfici orizzontali e la parte strutturale degli Elementi Architettonici), dall’altro anche i setti murari che a loro volta comprendono almeno una USM [...]” “Per quanto concerne le unità stratigrafiche murarie, “[...] in sintesi è indispensabile documentare: (a) la tipologia della muratura (in mattoni, in pietra – squadrata, sbazzata, a spacco, ciottoli – o mista; a paramento unico, a due o più paramenti); (b) la forma e la dimensione degli elementi che la costituiscono; (c) la disposizione dei corsi: regolare o pressoché orizzontale, con listature a passo regolare, ad opera incerta ecc., (c) la connessione degli elementi (numero ed estensione dei contatti, presenza di scaglie) ed il regolare sfalsamento dei giunti; (d) la natura delle malte e il loro stato di conservazione. In altre parole non ci si dovrà limitare a descrivere un paramento, che è solo una delle due superfici della muratura, ignorando come è fatta all’interno e dall’altra parte [...]” (cfr. Brogiolo G. P., *Procedure di documentazione e processi interpretativi dell’edilizia storica alla luce delle linee guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale*, in “Archeologia dell’architettura”, XIII, 2010, pp. 9-13).

Per poter confrontare campionature omogenee appartenenti a fortificazioni differenti, si è scelto di prendere in considerazione esemplari uguali da un punto di vista dimensionale e simili da un punto di vista formale³³.

Il primo gruppo di campioni analizzati fa riferimento a paramenti esterni relativi a muri in alzato, lontani da buche portaie e da aperture, collocati a media altezza nei corpi delle **Rocche di Finale Emilia, Vignola e San Felice sul Panaro**.

I paramenti analizzati della rocca finalese e di quella vignolese, hanno evidenziato quantitativi di malta di poco superiori al 20% e quindi la superficie occupata dai laterizi si aggira attorno al 75%. Nel caso di San Felice sul Panaro invece i leganti costituiscono il 29% della superficie del paramento ed il rimanente 81% è occupato da blocchi laterizi.

I laterizi utilizzati a Vignola hanno dimensioni medie di 28 x 5 x 12,5 cm³⁴. I giunti di malta non scandiscono un reticolato regolare, tuttavia hanno spessore pressoché costante e pari a 0,5 cm, che in poche parti arriva a sfiorare 1 cm. La tessitura non segue un disegno preciso: alcune porzioni sono costituite esclusivamente da filari sovrapposti di laterizi messi in opera per testa ed altre parti sono invece formate da filari messi in opera esclusivamente per coltello (fig. 9).

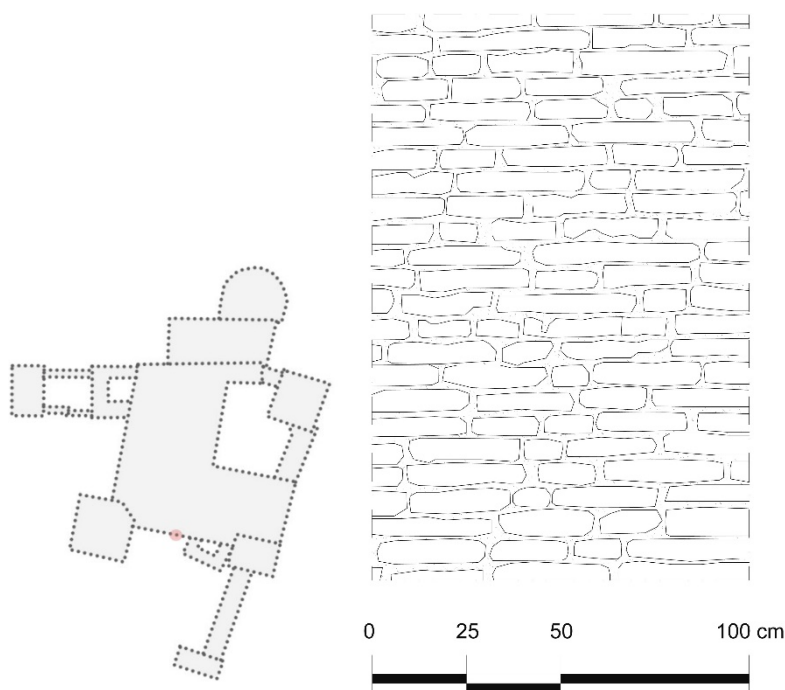


Figura 9 – Campionatura muri in alzato Vignola.

³³ Ogni campionatura è costituita da una superficie con base pari a 1 m e altezza di 1,5 m, in altri termini è stata individuata “[...] una scala di riferimento in grado di mettere in luce le caratteristiche costruttive delle murature selezionandone gli aspetti ritenuti più importanti, relativi, ad esempio, ai materiali utilizzati, alle loro caratteristiche dimensionali, di forma e lavorazione, alle modalità di assemblaggio dei paramenti e dei nuclei, alla presenza di particolari accorgimenti costruttivi, come le buche portaie, i legamenti trasversali, le soluzioni angolari e così via [...]” (cfr. D. Fiorani, D. Esposito, *op. cit.*, p. 35).

³⁴ Le dimensioni dei singoli laterizi sono state ricavate dalla restituzione grafica realizzata per i campioni presi in esame. Partendo dalle dimensioni dei blocchi messi in opera, è stata effettuata la media pesata sul numero di laterizi considerati.

Come nel forte di Vignola, anche in quello finalese i laterizi messi in opera hanno dimensioni medie di 28 x 5 x 12,5 cm³⁵. I giunti presentano spessori regolari: compresi tra 0,5 ed 1 cm per quanto riguarda quelli con andamento verticale e tra 1 e 2 cm per quanto concerne invece quelli aventi andamento orizzontale. La tessitura imita la tipologia alla gotica, ma non può essere descritta come tale perché in alcune parti non viene rispettata la giusta alternanza tra laterizi messi in opera di testa e per coltello. Pertanto anche i giunti di malta non seguono un preciso disegno (fig. 10).

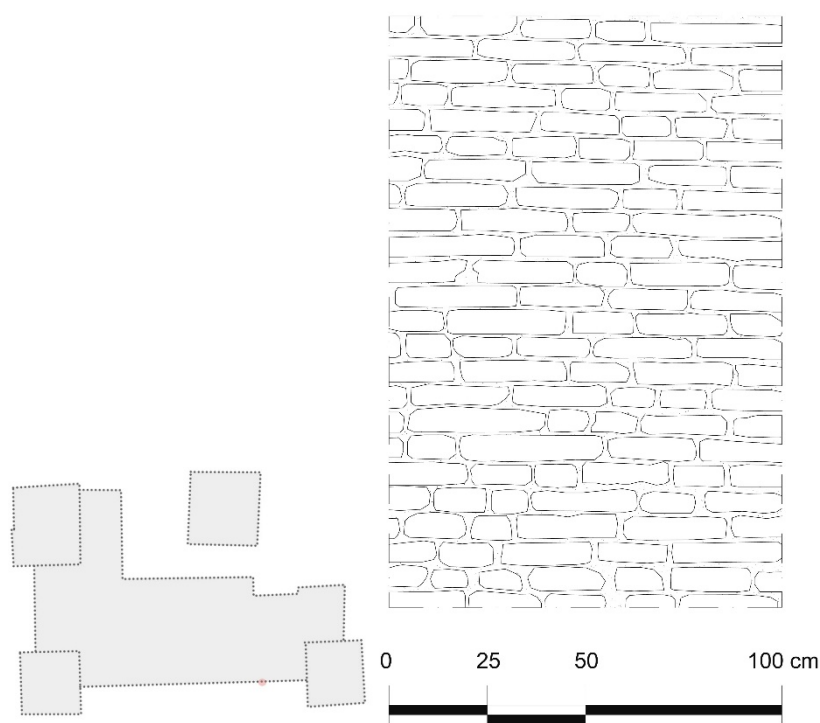


Figura 10 – Campionatura muri in alzato Finale Emilia.

I laterizi messi in opera a San Felice sul Panaro hanno dimensioni medie di 30 x 10 x 6 cm. I giunti di malta non sono regolari: sia quelli con andamento verticale che quelli con andamento orizzontale, presentano spessori variabili, ma in ogni caso compresi tra 1 e 2 cm.

Il paramento mostra un'apparecchiatura senza alternanza precisa fra elementi di testa e di taglio anche se a tratti si rilevano ampie porzioni di assestamento alla gotica degli elementi. È possibile ipotizzare che questo sia dovuto all'utilizzo abbastanza diffuso di elementi di uso secondario. Anche i giunti quindi non scandiscono un ritmo ben preciso tra pieni e vuoti, ma sembrano piuttosto colmare gli spazi presenti tra i mattoni (fig. 11).

³⁵ F. Bonora, *Proposta metodologica per uno studio storico dei mattoni*, in AA. VV., *Il mattone di Venezia. Stato delle conoscenze tecnico-scientifiche*, Fondazione Giorgio Cini, Venezia 1979, pp. 229-238.

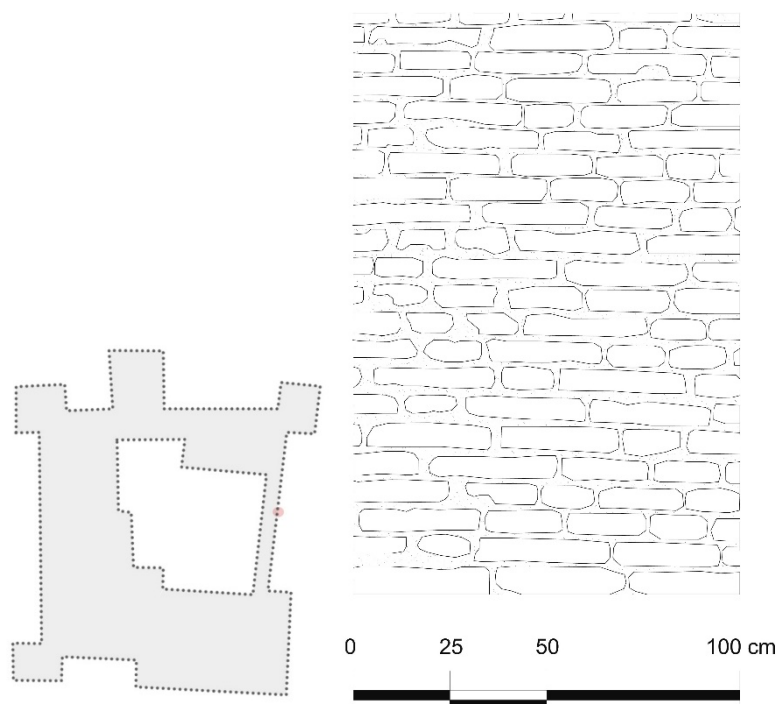


Figura 11 - Campionatura muri in alzato San Felice sul Panaro.

Il secondo gruppo di indagine riguarda ancora paramenti esterni relativi a muri in alzato, ma relativi a *torri angolari*. Anche in questo caso le finestre murarie analizzate appartengono alle **Rocche di Finale Emilia, Vignola e San Felice sul Panaro**, sono lontane da buche pontate e da aperture e risultano collocate a media altezza degli elementi costruttivi di appartenenza. Anche per quanto riguarda questo gruppo di campionature appartengono al forte di San Felice i paramenti con la percentuale di legante più alta: essa è superiore al 30% e la quota parte rimanente è occupata interamente da laterizi. Dall'analisi superficiale dei paramenti delle altre due strutture fortificate è invece emerso che il quantitativo di legante risulta di poco inferiore al 30% ed i laterizi costituiscono quindi il rimanente 70% circa.

Quindi alla luce di quanto ottenuto dallo studio delle superfici occupate da laterizi e da legante, è possibile evincere che i paramenti esterni dei muri in alzato dei *corpi di fabbrica* contengono un quantitativo percentuale minore di legante rispetto quelli afferenti alle *torri angolari*. La particolarità appena descritta indica la costruzione diacronica delle *torri* e delle *cinte murarie*, come emerso anche dalle indagini storiografiche svolte. La disponibilità locale dei materiali da costruzione e le modalità di posa in opera diffuse nell'area di indagine, sono probabilmente mutate nell'arco temporale compreso tra la realizzazione dei primi elementi architettonici e di quelli realizzati successivamente.

I laterizi utilizzati nel *torrione* di San Felice sul Panaro presentano dimensioni medie di 30 x 14 x 6 cm. La tessitura non risulta regolare: la maggior parte dei laterizi è stata messa in opera per fascia, ma non esiste un preciso disegno che regoli l'alternanza tra mattoni disposti per fascia e mattoni disposti per coltello. Di conseguenza anche i giunti non hanno un andamento regolare, tuttavia il loro

spessore si mantiene pressoché costante, compreso tra 0,5 e 1,5 cm per quelli aventi andamento orizzontale e compreso tra 1 e 2 cm per quelli verticali (fig. 12).

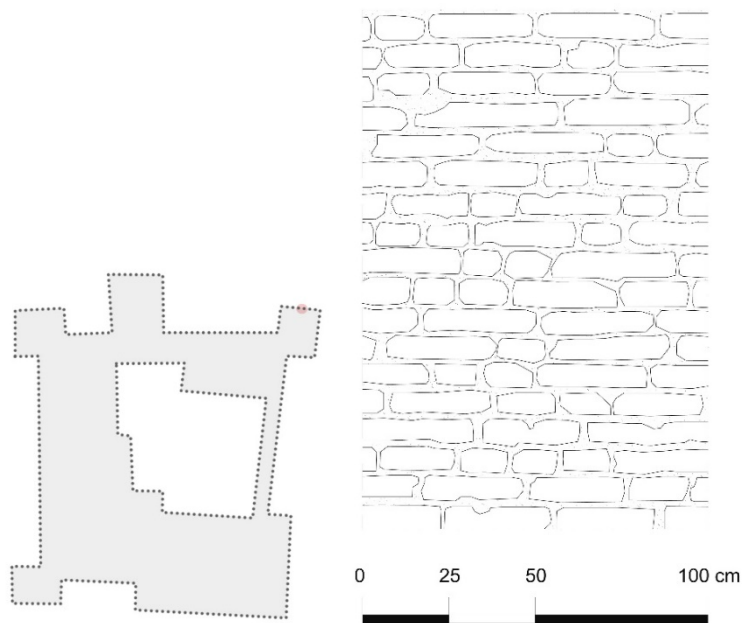


Figura 12 - Campionatura muri in alzato torrione San Felice sul Panaro.

Per quanto riguarda il forte di Vignola, anche nella messa in opera dei *torrioni* sono stati utilizzati laterizi con dimensioni medie di 28 x 5 x 12,5 cm. Lo studio della tessitura non ha messo in luce particolari regolarità: l'alternanza tra laterizi messi in opera per fascia e quelli messi in opera per coltello non segue alcuno schema, quindi anche i giunti in malta non presentano un andamento regolare, tuttavia i loro spessori sono costanti e pari a 0,5 cm, in poche parti arrivano ad 1 cm (fig. 13).

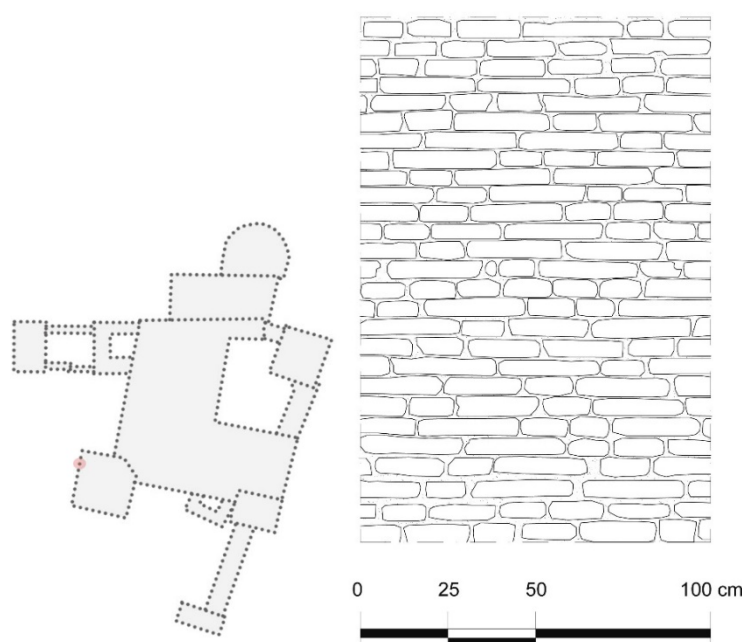


Figura 13 - Campionatura muri in alzato torrione Vignola.

I laterizi messi in opera nei *torrioni* di Finale Emilia, presentano le medesime dimensioni di quelli utilizzati nei corpi costruttivi dello stesso complesso fortificato, ovvero, come già evidenziato precedentemente: 28 x 5 x 12,5 cm. Ad eccezione di una piccolissima percentuale, tutti i laterizi sono stati messi in opera di fascia. Il reticolo disegnato dai giunti è abbastanza regolare e gli interstizi costituiti da legante presentano uno spessore costante di circa 1 cm, sia quelli aventi andamento orizzontale che quelli con andamento verticale (fig. 14).

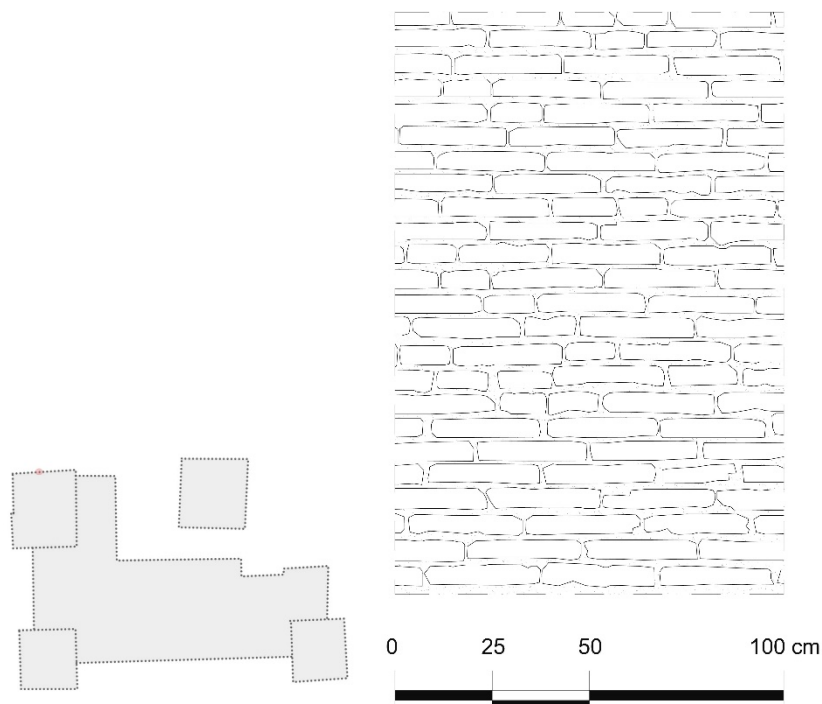


Figura 14 - Campionatura muri in alzato torrione Finale Emilia.

Per l'importanza che il *mastio* della **Rocca di Finale Emilia** riveste nell'analisi delle modalità costruttive dei muri in alzato, si è deciso di studiare anche le creste murarie, ad esso appartenenti, conservatesi all'indomani dei rovinosi eventi sismici del 2012. Contrariamente a quanto effettuato per gli apparati in laterizio finora considerati, in questo caso non è stato possibile campionare la superficie laterizia partendo dal prospetto perché i reperti murari pervenutici presentano un'area non assimilabile ai canoni di campionatura esposti in precedenza.

Di grande interesse risulta lo spaccato messo in evidenza dal crollo del mastio stesso. Analizzando ciò che resta degli apparati murari all'indomani degli eventi sismici, è possibile individuare facilmente tre paramenti sovrapposti (fig. 15). Quello più esterno è costituito da un'apparecchiatura muraria laterizia ad una sola testa, composta da elementi ferrioli, ovvero ben cotti (essi risultano di una tonalità di colore rosso scuro) e quindi molto resistenti³⁶. La successione irregolare dei laterizi disposti per

³⁶ Se durante la cottura degli elementi in argilla, la temperatura del forno supera gli 800°-900° C, “[...] la silice e l'allumina si riorganizzano in nuovi silicati [...] simili a quelli che costituiscono alcune rocce magmatiche; questa trasformazione fa ritirare ulteriormente l'impasto che diventa più rigido, più resistente e meno poroso; ciò causa anche l'annerimento dei prodotti argillosi. A temperature ancora superiori comincia la fusione del quarzo, ovvero i prodotti ceramici subiscono una semivetrificazione, mentre l'argilla si compatta e perde ulteriormente

fascia e per coltello, lascia intuire l'assenza di un progetto strutturale basato su *diatoni* ed *ortostati*³⁷ (figg. 16-17). Il livello appena descritto, quindi, per quanto accertabile, non risulta ammorsato a quello intermedio. Anche quest'ultimo è formato da laterizi ben cotti, disposti in un paramento ordinato, ad una sola testa. Il nucleo più interno, non ammorsato alla sezione intermedia del muro, è costituito da laterizi di una colorazione più chiara rispetto agli altri, quindi meno cotti e meno resistenti. Essi sono disposti in maniera disordinata: non seguono alcuna alternanza precisa, né in senso verticale, né in senso orizzontale. È evidente il quantitativo maggiore di malta impiegata nel nucleo murario più interno, rispetto quello utilizzato nei due paramenti più esterni. Più precisamente, le percentuali di pieni e di vuoti in sezione sono: per il paramento murario più esterno 24% legante e 76% laterizi, per quello intermedio invece sono il 58% ed il 42% ed infine per quello più interno, si può parlare di 70% e 30%. Quindi tra il livello più interno ed il livello più esterno, le percentuali dei due materiali utilizzati si scambiano, i paramenti potrebbero essere stati quindi costruiti ipotizzando valori di resistenza diversi.

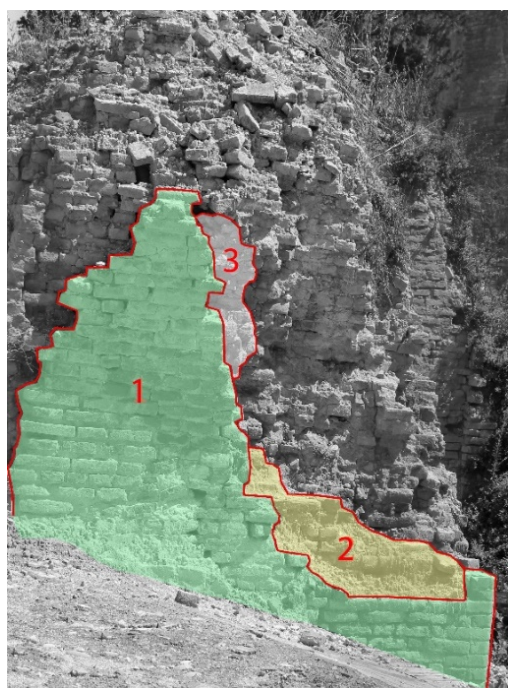


Figura 15 – Vista Est di ciò che rimane attualmente del mastio della Rocca di Finale Emilia. Individuazione livelli murari: ZONA 1_cortina più esterna (campitura verde); ZONA 2_cortina intermedia (campitura gialla); ZONA 3_nucleo interno (campitura bianca).

volume. È questo il caso dei mattoni scuri la cui presenza si osserva non di rado nelle murature o nelle pavimentazioni di età medievale e postmedievale. Lo studio della documentazione archivistica genovese ad esempio, ha permesso di capire che tali mattoni più scuri, molto cotti, venivano definiti, nei capitoli di costruzione dal XVI al XVIII secolo, 'ferrioli' i censori della Repubblica di Genova avevano stabilito che per tali laterizi si pagasse un prezzo più alto che per gli altri, proprio perché erano più impermeabili e resistenti [...] (cfr. A. Cagnana, *Archeologia dei materiali da costruzione*, Editrice SAP, Mantova 2000, p. 95).

³⁷ Gli *ortostati* sono “[...] blocchi parallelepipedi posti con il loro lato più lungo nella direzione del muro (nella terminologia del secolo scorso questa posizione fu detta di fascia, o di fianco, o in grossezza)[...]”. I *diatoni* sono “[...] blocchi parallelepipedi posti con la maggior lunghezza ortogonale al muro (in chiave, o di punta, o di testa) [...]” (cfr. A. Giuffrè, *Lettura sulla meccanica delle murature*, Edizioni Kappa, Bologna 1991, p. 3).



Figura 16 - Vista Sud di ciò che rimane attualmente del mastio della Rocca di Finale Emilia.

Dall'analisi degli apparati murari pervenutici dopo gli eventi sismici, è possibile elaborare una sezione dettagliata relativa ai muri in alzato del *mastio*. A causa delle caratteristiche descritte al paragrafo precedente, relative al paramento esterno, a quello mediano ed al nucleo più interno, è possibile dedurre l'assenza di elementi trasversali ed il non ammorsamento dei tre livelli murari presi in considerazione.

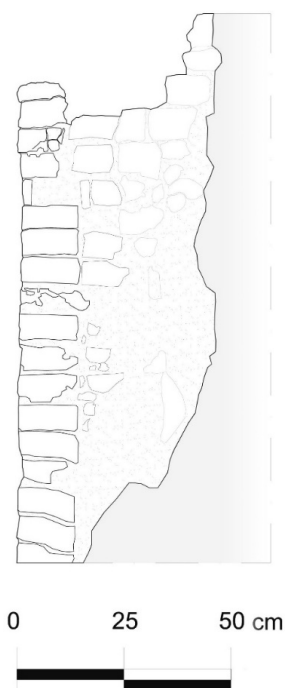


Figura 17 – Elaborazione del rilievo fotografico in fig. 16. Sezione muraria relativa al mastio della Rocca di Finale Emilia.

Quindi il muro in oggetto è assimilabile ad un triplo paramento murario, poiché i livelli adiacenti non risultano tra loro ingranati e sono caratterizzati dalla completa mancanza di elementi di collegamento trasversale.

I giunti verticali in malta sono continui sia tra il livello laterizio più esterno e quello intermedio, sia tra quest'ultimo ed il paramento più interno. È possibile constatare la presenza di giunti verticali discontinui esclusivamente tra i laterizi messi in opera per costituire il livello murario più interno³⁸ (fig. 18).

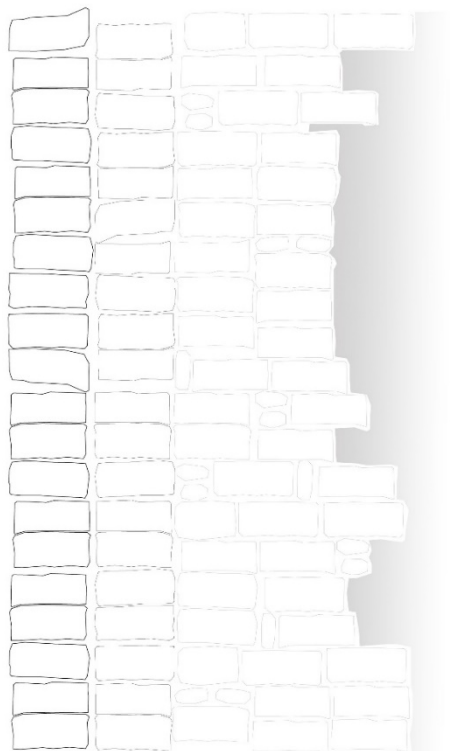


Figura 18 – Ipotesi costruttiva del paramento murario del mastio della Rocca di Finale Emilia. Sono bene distinguibili il paramento esterno, quello mediano ed il nucleo.

Un parametro importante per distinguere il numero di paramenti murari adiacenti è l'andamento dei giunti di malta verticali, in sezione. Infatti tanto più questi ultimi risultano continui, peggiore sarà il comportamento complessivo della muratura, in quanto i paramenti potrebbero separarsi e instabilizzarsi. I giunti sfalsati invece tendono a garantire un comportamento resistente³⁹.

Uno dei fattori più incidenti nella risposta che le murature offrono alle azioni sismiche ortogonali al piano, come evidenziato dalla manualistica relativa alle costruzioni in muratura⁴⁰, è la

³⁸ L. Binda, D. Penazzi, A. Saisi, *Historic Masonry Buildings: Necessity of a Classification of Structures and Masonries for the Adequate Choice of Analytical Models*, in T.G. Hughes & G. N. (a cura di), *6th Int. Symp. Computer Methods in Structural Masonry*, Wiley Online Library, Roma 2003, pp. 168-173.

³⁹ “[...] Quando i giunti risulteranno continui lungo tutta la sezione, mettendo in evidenza due paramenti distinti, si avrà una parete a due paramenti accostati; quando i giunti si presentano sfalsati, ma non intervallati da alcuna pietra, si avranno due paramenti parzialmente ammorsati; se, infine, i giunti continui sfalsati sono interrotti da diaconi o pietre lunghe che interessano gran parte della sezione, si parla di due paramenti ben ammorsati [...]”. Lo stesso ragionamento vale per le murature costituite da più di due paramenti adiacenti. (cfr. A. Saisi, *Rilievo e studio del comportamento di sezioni murarie*, in D. Fiorani, D. Esposito, *op. cit.*, p.193).

⁴⁰ G. Cangi, *Manuale del Recupero strutturale antisismico*, DEI, Roma 2005, pp. 71-73.

modalità di tessitura utilizzata nella messa in opera (fig. 19). Varie prove di laboratorio hanno dimostrato che la tessitura alla gotica è quella meno vulnerabile alle azioni orizzontali, ortogonali al piano. I paramenti murari costituiti da soli *diatoni* risultano più vulnerabili rispetto quelli alla gotica, ma meno danneggiabili rispetto quelli formati esclusivamente da *ortostati*. I paramenti del mastio finalese rientrando in quest'ultima tipologia, risultano quindi i più vulnerabili, qualora sottoposti ad azioni sismiche.

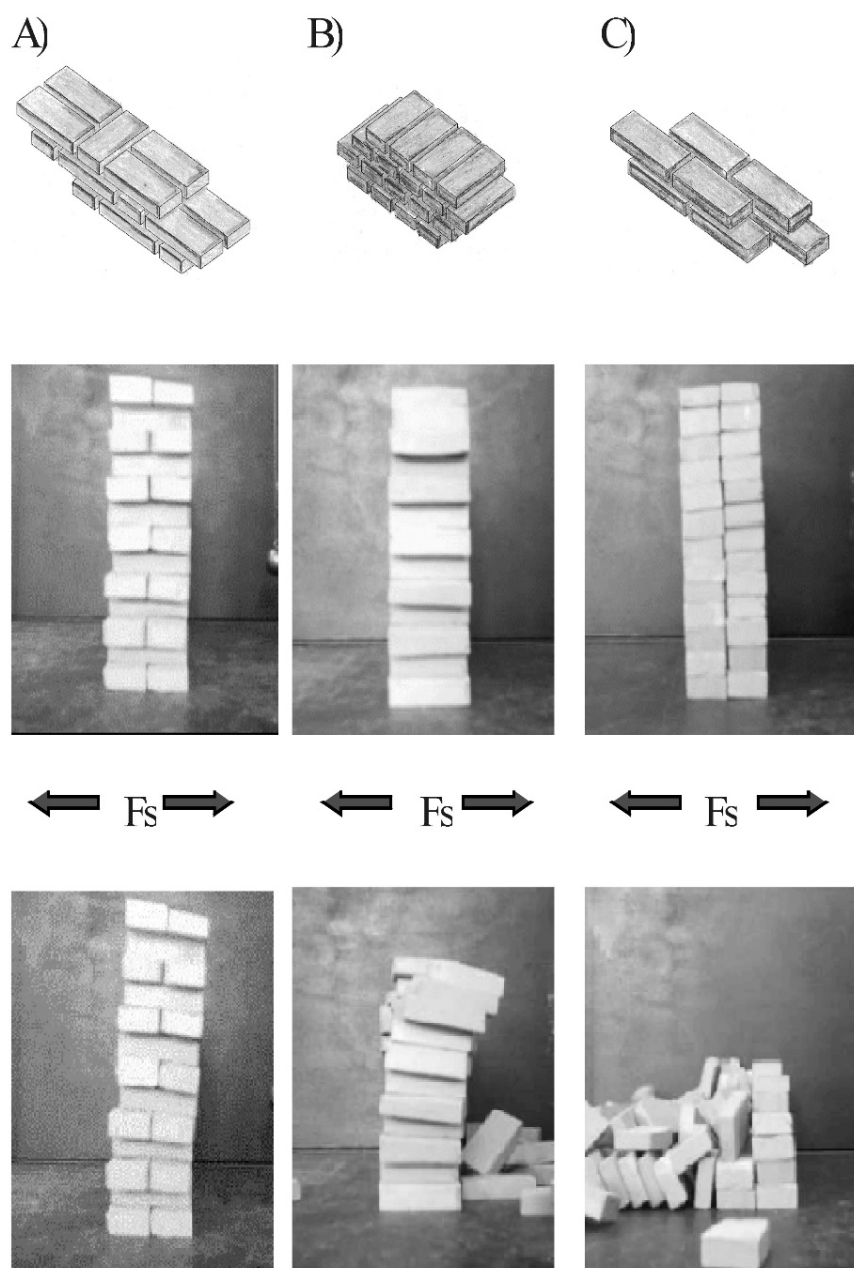


Figura 19 - A) Tessitura alla gotica, B) Paramento costituito da soli *diatoni*, C) Paramento costituito da soli *ortostati*.

Al fine di indagare il grado di ammorsamento⁴¹ fra i paramenti murari adiacenti degli elementi finora presi in considerazione, si è ritenuto opportuno scegliere un parametro di riferimento e attuare un confronto fra i valori ad esso attribuibili, ottenuti per ogni caso considerato. L'indice prescelto è il numero di laterizi a mq che potrebbero assolvere a funzione di *diatoni*⁴². Partendo dall'analisi delle campionature effettuate, sono stati individuati questi ultimi indagando le dimensioni dei laterizi, la modalità con cui essi sono stati messi in opera e le particolarità dei giunti ad essi adiacenti. I presunti *diatoni* sono costituiti quindi da laterizi aventi le stesse caratteristiche morfologiche, dimensionali e materiche degli elementi indagati nei paragrafi precedenti, messi in opera di testa, ma non appartenenti a tessiture ben definite e circondati da abbondanti quantitativi di legante: i giunti di malta adiacenti i *diatoni* ora indagati, sono di dimensioni maggiori rispetto quelli relativi agli altri laterizi appartenenti alle campionature effettuate.

Ripetendo la suddivisione già utilizzata ad inizio paragrafo per descrivere i campioni di muratura presi in esame, si considerano ora i paramenti esterni relativi a muri in alzato dei corpi di fabbrica delle **Rocche di Finale Emilia, Vignola e San Felice sul Panaro**.

Il numero dei probabili *diatoni* a mq individuati è rispettivamente di 3,3 per il **Castello delle Rocche di Finale Emilia** (fig. 20) e di 2 sia per la **Rocca di Vignola** (fig. 21) sia per quella di **San Felice sul Panaro**⁴³ (fig. 22).

⁴¹ “[...] La metodologia di indagine si basa su [...] rilievo delle sezioni e dei prospetti murari, riconoscendo il numero di paramenti, il loro grado di ammorsamento, percentuale, dimensione e distribuzione dei vuoti. Tali informazioni che non possono risultare soltanto dall'osservazione del prospetto murario, sono utili sia per la definizione della geometria che del comportamento meccanico [...]” (cfr. L. Binda, G. Cardani, C. Modena, A. E. Saisi, M. R. Valluzzi, *Studio della vulnerabilità degli edifici dei centri storici in zona sismica*, in D. Fiorani, D. Esposito (a cura di), *op. cit.*, pp. 19-20).

⁴² Nelle pubblicazioni edite in materia, molte volte le murature a più paramenti, sono state classificate sulla base del rapporto che intercorre fra distanza tra due *diatoni* successivi e spessore della parete (cfr. A. Giuffrè, *Caratterizzazione delle murature in pietra*, in A. Giuffrè, C. Carocci, *Codice di pratica per la sicurezza e la conservazione del centro storico di Palermo*, Laterza, Roma-Bari 1999, pp. 51-59), oppure analizzando le murature con sezioni ispezionabili, presenti in edifici danneggiati e non ancora riparati, come nella presente ricerca (cfr. Anzani A., Baronio G., Binda L., Modena C., *Tecniche di indagine e di consolidamento delle murature in pietra*, in “Ambiente costruito”, 1998, n. 2, pp. 39-48).

⁴³ L'analisi delle informazioni desunte dai sopralluoghi, svolta confrontandosi con l'ing. Giovanni Cangì, studioso di strutture storiche in muratura e dei relativi cinatismi di danno da sisma, autore di numerose pubblicazioni in merito, ha portato a individuare alcuni laterizi disposti di testa come possibili *diatoni*, a causa delle caratteristiche dei giunti ad essi adiacenti. La distinzione effettuata tra semplici mattoni di testa e *diatoni*, va letta meramente come un'ipotesi, in quanto fondata esclusivamente su dettagliate osservazioni visive e non potendo effettuare alcun tipo di indagine di laboratorio o *in situ*, l'attendibilità di questa supposizione non va intesa come un risultato indiscutibile.

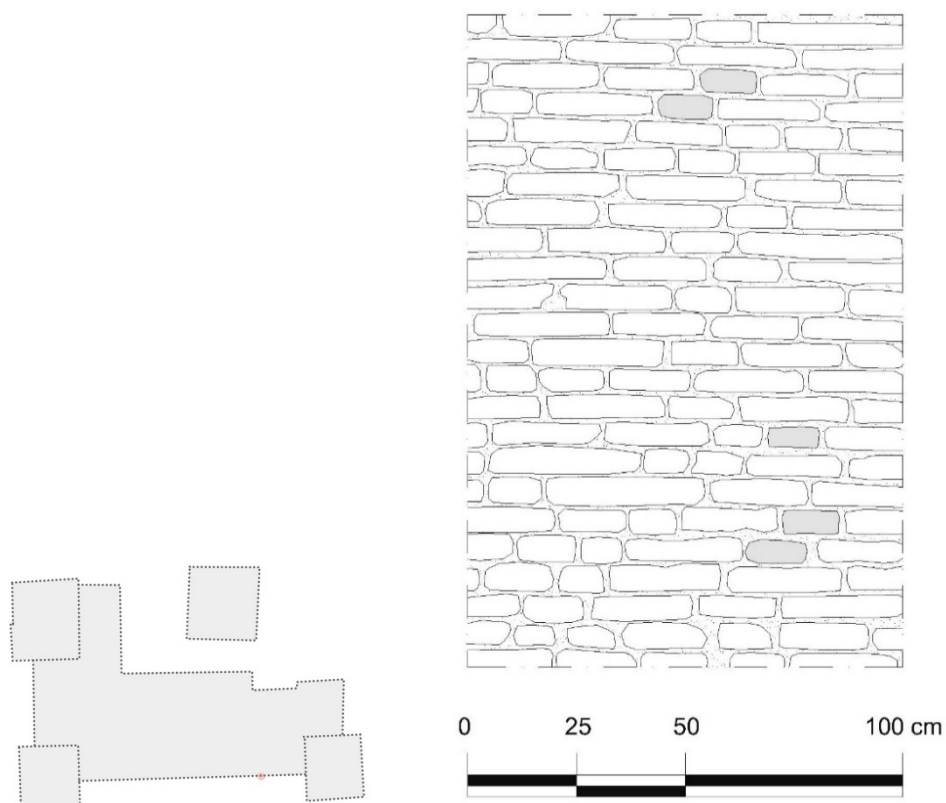


Figura 20 - Campionatura muri in alzato *palatium* Finale Emilia: in grigio i possibili *diatoni* rilevati. Media di 3,3 *diatoni*\mq.

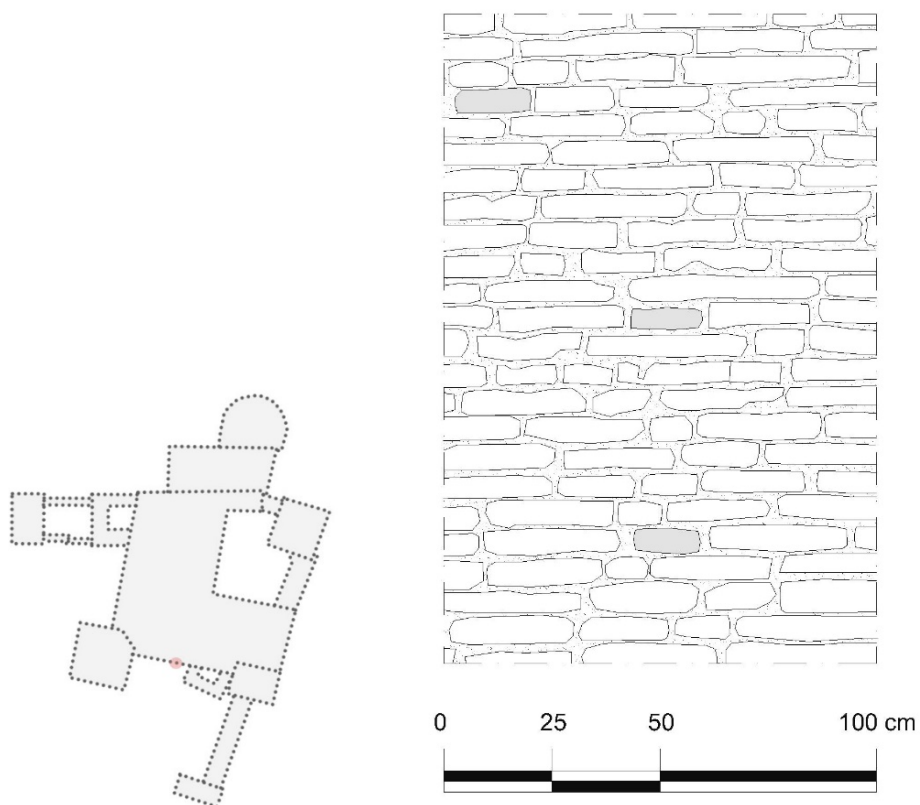


Figura 21 - Campionatura muri in alzato *palatium* Rocca di Vignola: in grigio i possibili *diatoni* rilevati. Media di 2 *diatoni*\mq.

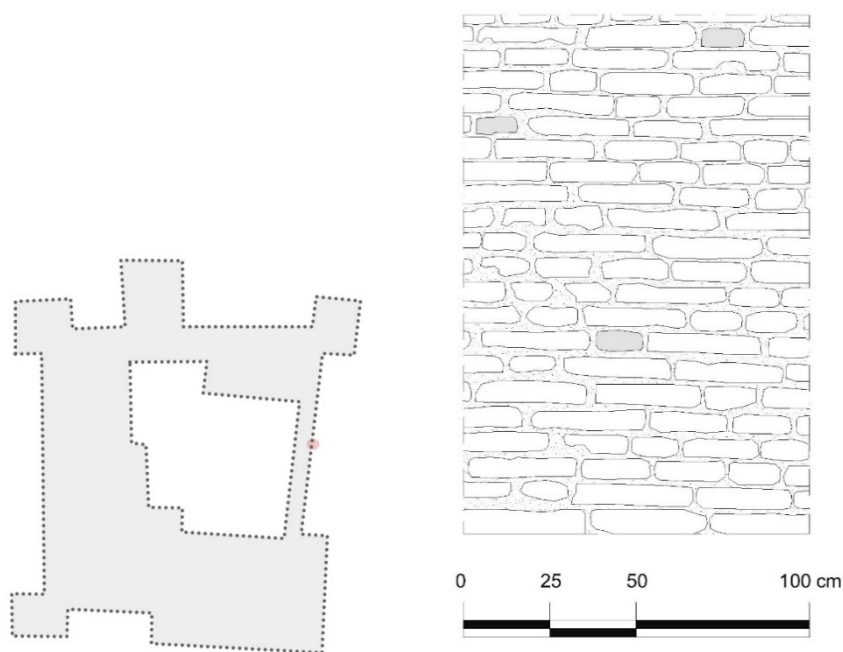


Figura 22 - Campionatura muri in alzato *palatium* Rocca di San Felice sul Panaro: in grigio i possibili diatoni rilevati. Media di 2 diatoni\mq.

Il secondo gruppo di campioni indagati appartiene alle *torri angolari* delle medesime rocche. Il numero dei probabili *diatoni* a mq individuati è in questo caso di 2 per la **Rocca di Vignola** (fig. 23) e per quella di **San Felice sul Panaro** (fig. 24). Il **Castello delle Rocche di Finale Emilia** costituisce una particolarità, in quanto non è stato possibile individuare alcun laterizio con possibile funzione di *diatono*.

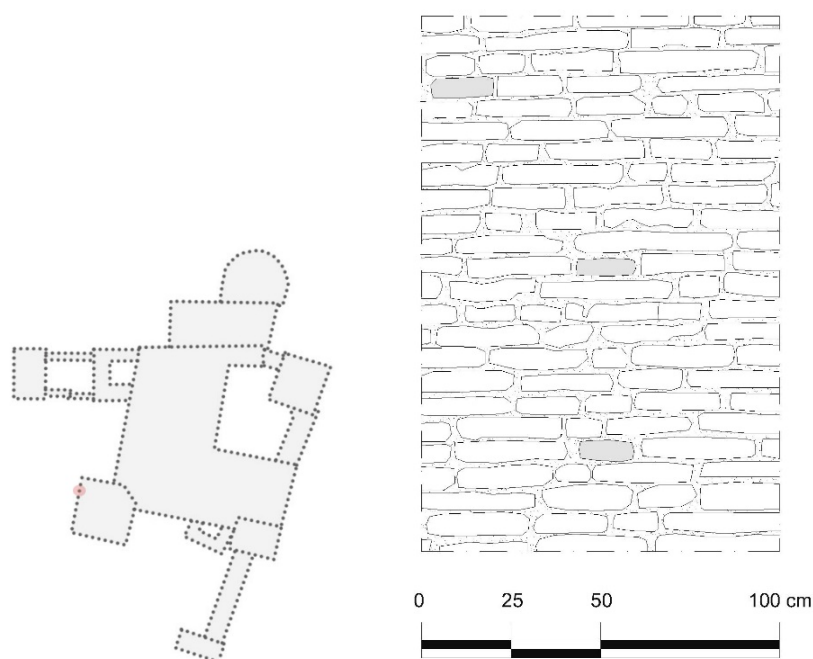


Figura 23 - Campionatura muri in alzato *torre Sud-Ovest* Rocca di Vignola: in grigio i possibili diatoni rilevati. Media di 2 diatoni\mq.

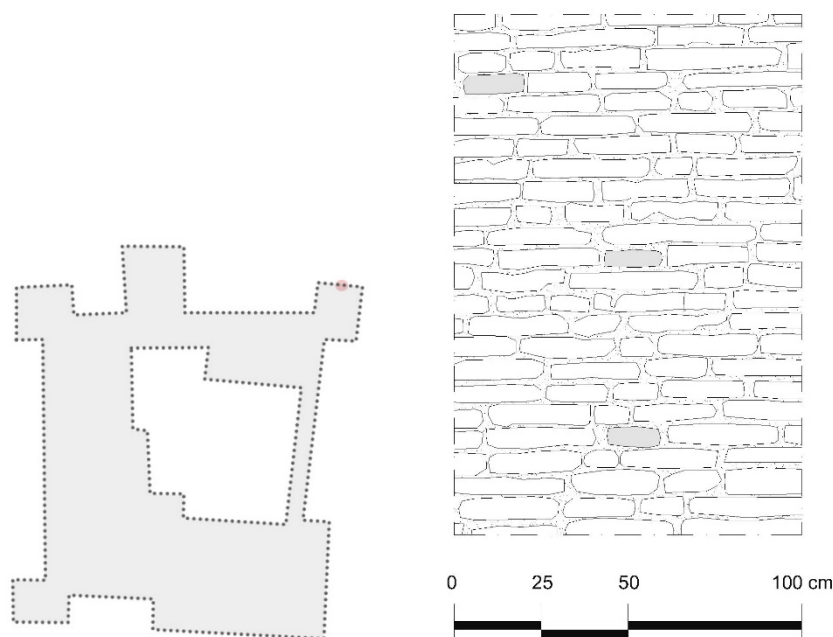


Figura 24 - Campionatura muri in alzato *torre Nord-Est* Rocca di San Felice sul Panaro: in grigio i possibili diatoni rilevati. Media di 2 diatoni/mq.

Non potendo effettuare indagini strutturali e materiche approfondite e non avendo a disposizione spaccati da studiare, dall'approfondimento condotto sull'analisi visiva del numero di *diatoni* a mq, è possibile dedurre che questi ultimi siano in grado di garantire in minima parte un comportamento monolitico dei livelli murari più esterni con quelli immediatamente adiacenti, ma più interni, nonostante il grado di ammorsamento tra questi livelli sia molto lieve.

Le rocche prese in esame sono caratterizzate da un uso generalizzato delle malte esclusivamente per la connessione tra i laterizi e/o i conci lapidei. L'osservazione dei resti architettonici sopravvissuti non ha infatti evidenziato nuclei murari formati solo da leganti, ma livelli interni della muratura costituiti dall'uso simultaneo di laterizi (o conci lapidei) e malta.

I leganti utilizzati in tutti i casi di studio, non sembrano essere di buona qualità. Si presentano come malte di una tonalità molto chiara, tendente al bianco, friabili al tatto e molto sensibili all'azione dell'acqua. Le osservazioni macroscopiche appena esposte, fanno ipotizzare che essi siano poveri di calce e costituiti prevalentemente da sabbia impastata con un quantitativo minimo di argilla, elementi facilmente reperibili nella Pianura Padana. Spesso addirittura, essendo lontane e poco collegate le cave di inerti ai luoghi di sedime delle fortificazioni prese in considerazione, risultava molto costoso reperire inerti di buona qualità, quindi la malta di calce era spesso sostituita da fango⁴⁴.

I bitumi di scarsa qualità utilizzati per legare gli elementi in pietra o laterizio rappresentano un fattore con influenza molto negativa nella valutazione della qualità generale delle murature. Infatti durante

⁴⁴ N. Giordani, P. Campagnoli, *Nuovi dati archeologici sulla Rocca di San Felice sul Panaro notizia preliminare*, in P. Bonacini (a cura di), *Rocche e castelli lungo il confine tra Bologna e Modena*, Edizione Fondazione di Vignola, Vignola 2005, p. 71.

i sopralluoghi effettuati, dall'osservazione dei crolli e delle macerie delle rocche studiate, è stato possibile rilevare che negli elementi collassati sono state utilizzate malte di qualità molto scadente, arricchite di limo e fango, per legare i laterizi.

Alla luce dei dati registrati durante i numerosi sopralluoghi e delle osservazioni precedentemente riportate, sembra che le murature in alzato delle strutture fortificate analizzate siano piene, costituite da vari paramenti tra loro affiancati, ma scarsamente ammorsati. Tutti i paramenti sono stati realizzati utilizzando laterizi, generalmente di buona qualità, ma non sempre di uso primario, legati mediante malte di qualità scadente, costituite prevalentemente da fango. La tessitura degli elementi non segue un'alternanza precisa tra laterizi posti per fascia e per coltello. La presenza di numerosi laterizi posti per fascia lascia ipotizzare una prassi costruttiva poco rigorosa, ma improntata ad evitare lo spreco di materiale.

L'analisi puntuale delle murature in elevato delle cinque fortificazioni indagate ha permesso di constatare, come illustrato nei paragrafi precedenti, l'utilizzo preponderante di laterizi, tuttavia è stato possibile evidenziare anche il contemporaneo impiego minoritario di pietrame. Apparecchi che associano materiali lapidei e mattoni coesistono in una incredibile complessità di variazioni: i blocchi in pietra sono stati infatti utilizzati sia come corsi sia come elementi isolati inseriti in murature laterizie. Gran parte del pietrame messo in opera è caratterizzato da spigoli arrotondati, sinonimo della loro origine fluviale.

Dall'osservazione degli elementi architettonici principali è stato rilevato, esclusivamente nel caso della **Rocca di Vignola**, l'uso di pietre nella tessitura dei paramenti murari. In tutti i macroelementi presi in considerazione, la pietra è stata utilizzata insieme ai laterizi (fig. 25).

Solamente la parete Nord del loggiato ubicato in zona Ovest del complesso vignolese, risulta costituita *in toto* da pietrame di origine fluviale.

Gli studi condotti sui muri campionati, hanno evidenziato che il 69% della superficie è costituito da pietrame ed il rimanente 31% è invece formato da malta.

Dalle indagini effettuate è emerso che i blocchi, di pezzatura medio-grande, non hanno forme omogenee: il rapporto tra gli assi maggiori varia da 1,2 a 1,8. Alcuni di essi quindi sono simili ad un quadrato, altri invece sono più allungati ed assomigliano a laterizi. Non sono stati messi in opera in maniera sistematica, non è possibile individuare una precisa regola di tessitura (fig. 26), l'orditura sembra piuttosto essere il frutto delle caratteristiche, dimensionali e formali, differenti dei blocchi disponibili⁴⁵. In alcune porzioni i blocchi sono stati messi in opera a spina di pesce ed il altre piccole

⁴⁵ Nonostante i paramenti in esame siano stati realizzati utilizzando esclusivamente blocchi lapidei, non si può parlare di *opus quadratum* ovvero il “[...] sistema di costruire con blocchi di pietra tagliati in forma di parallelepipedi e disposti a filari orizzontali [...]”, sia perché alcuni elementi non sono a forma di parallelepipedo, sia perché essi non sono stati disposti sempre in filari orizzontali regolari (cfr. G. Lugli, *La tecnica edilizia romana con particolare riguardo Roma e Lazio*, Bardi Editore, Roma 1957, p. 169).

porzioni le pietre sono state montate facendo coincidere i giunti verticali con la mezzeria dei blocchi stessi. Quindi non è possibile individuare un andamento regolare dei giunti di malta, a causa delle differenti tessiture utilizzate.

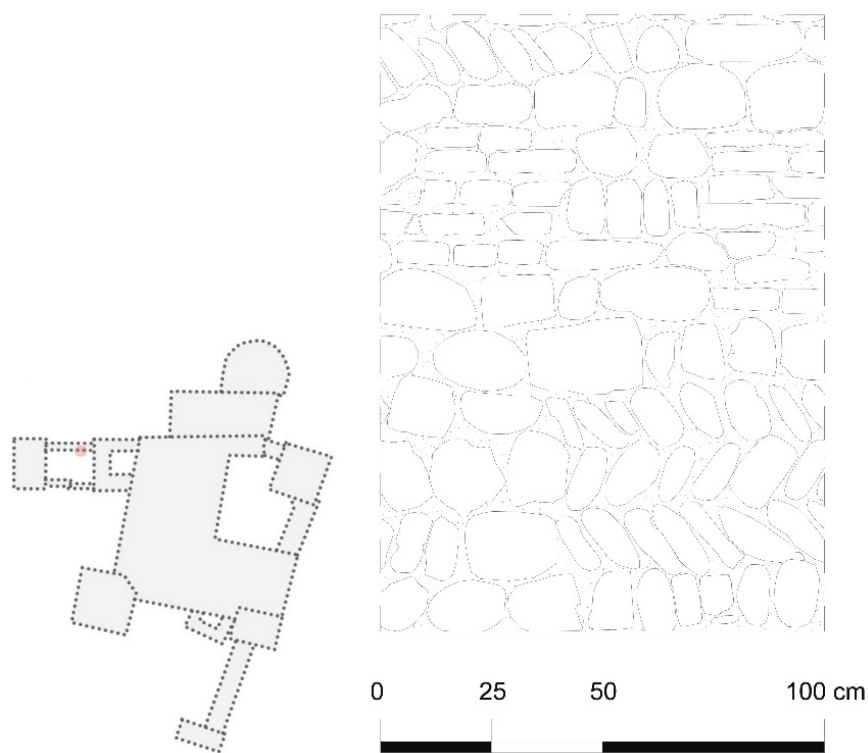


Figura 25 - Campionatura muri in alzato in pietra e laterizio della Rocca di Vignola.

Ciascuna modalità di tessitura è caratterizzata dal comportamento del singolo elemento e dalle mutue relazioni che esso instaura con gli altri pezzi.

L'*opus spicatum*⁴⁶, realizzato disponendo gli elementi a spina di pesce, per permettere di utilizzare anche i blocchi in pietra più sottili, garantisce stabilità alla muratura grazie alle forze di compressione che si sviluppano come mutue azioni di contatto. Le pietre dalla forma rotondeggiante invece tendono ad ingranarsi ai filari sovrapposti e necessitano di forze orizzontali per garantire l'equilibrio del sistema. Per quanto riguarda il paramento murario analizzato, non essendo costituito da una tessitura uniforme, non risulta facilmente descrivibile da un punto di vista statico, senza l'ausilio di prove di laboratorio.

⁴⁶ T. Mannoni, *Archeologia delle tecniche produttive*, Escum, Genova 1994, p. 12.

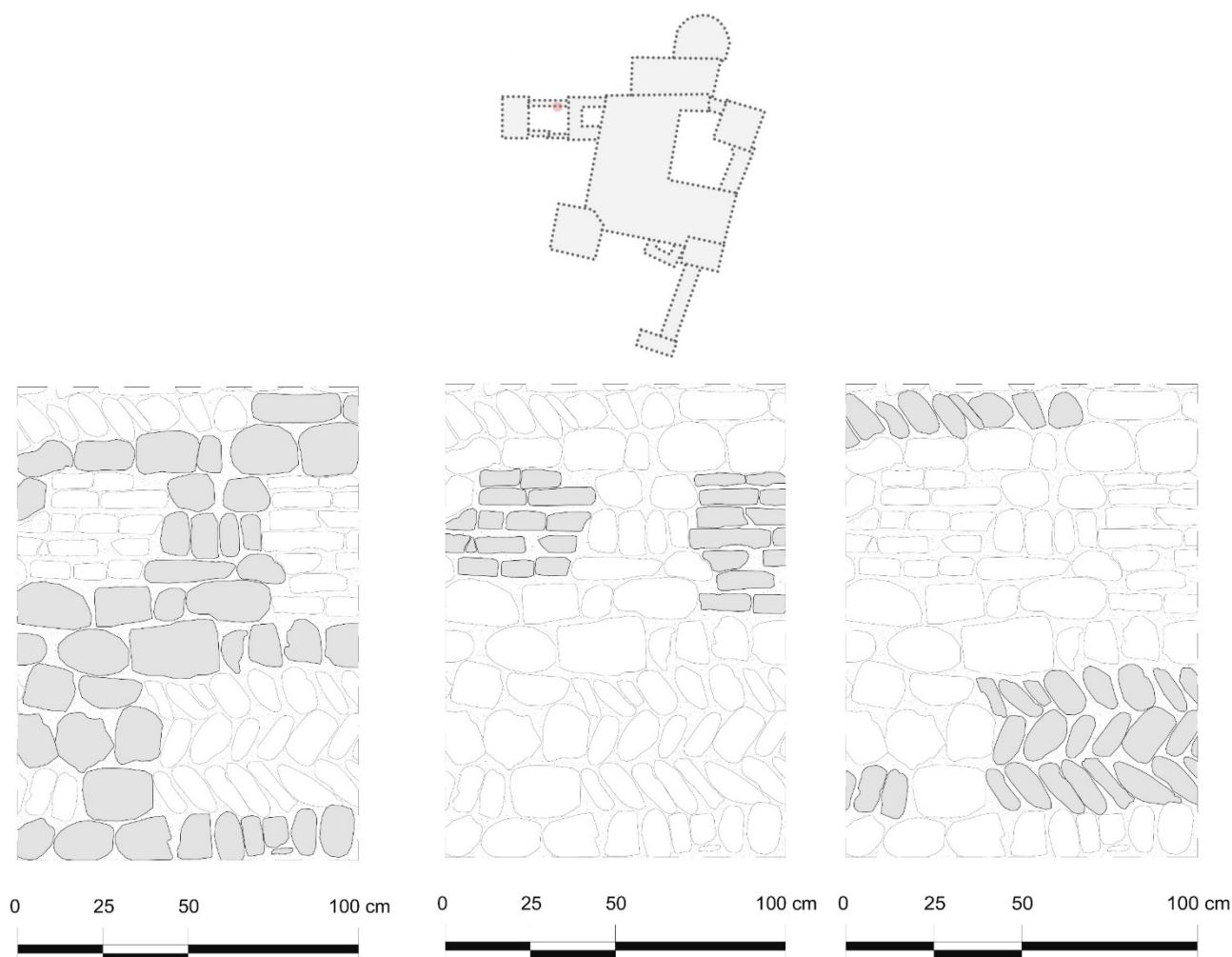


Figura 26 – Partendo da sinistra: porzioni di tessitura casuale, alla gotica e a spina di pesce.

In corrispondenza della facciata appena presa in considerazione soltanto gli stipiti e gli architravi sono stati realizzati in laterizio (fig. 27). Le piattabande possiedono un profilo geometrico molto regolare, il quale segna un netto cambio di materiale, ed i laterizi sono disposti per coltello. Gli stipiti non sono invece marcati da una netta distinzione tra i materiali: l'ammorsamento tra pietre e laterizi non segue una linea retta e perpendicolare, ma piuttosto una spezzata che conferisce allo stipite stesso uno spessore variabile in funzione dell'altezza da terra. Nel caso degli stipiti, i laterizi sono stati messi in opera con tessitura alla gotica.

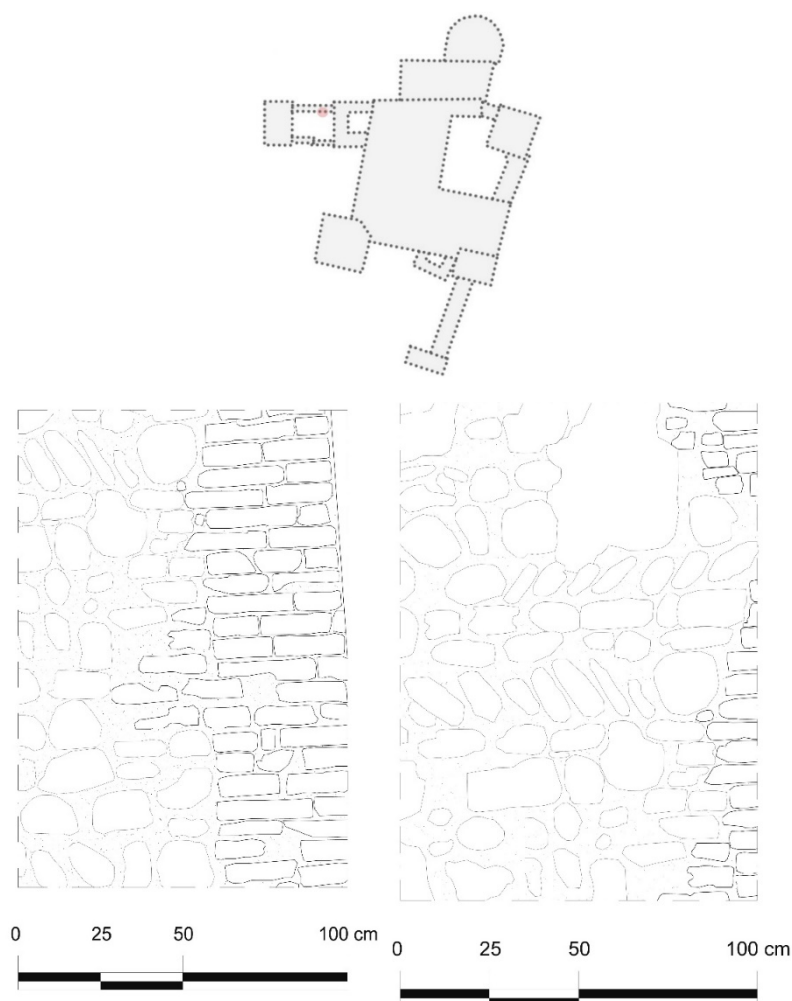


Figura 27 – Stipiti in laterizio e paramenti murari in pietra.

Un caso particolare di superfici totalmente in laterizio, sovrapposte a superfici totalmente in pietra, è riscontrabile in corrispondenza del lato Sud del cortile (fig. 28). La netta distinzione fra i due materiali avviene all'incirca ad altezza del primo impalcato.

Per quanto riguarda la superficie in pietra, è stato rilevato che essa è costituita da blocchi di origine fluviale, di pezzatura medio-piccola e forma varia. A differenza degli elementi murari in pietra finora analizzati, in questo caso il quantitativo di malta utilizzato è maggiore: il 60% delle superfici è costituito da pietrame, mentre il rimanente 40% è formato da legante. I blocchi non sono stati messi in opera seguendo un preciso schema di tessitura, ma piuttosto in maniera disordinata ed incoerente. Per quanto concerne la parte in laterizio è invece possibile riscontrare uno schema di tessitura alla gotica, molto regolare. Come per le altre superfici laterizie finora analizzate, anche in questo caso le percentuali di legante e di mattoni si attestano rispettivamente attorno al 25% e 75%.

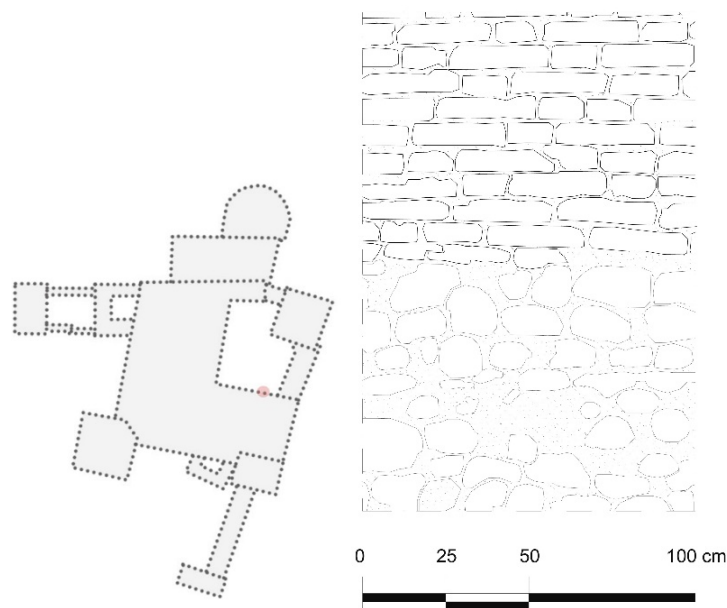


Figura 28 – Superfici totalmente in laterizio sovrapposte a paramenti totalmente in pietra.

Il *torrione* ubicato a Nord-Ovest del complesso vignolese presenta paramenti murari costituiti da pietrame di origine fluviale, messo in opera con malta. I blocchi sono di pezzatura medio grande e di forma pressoché quadrata: il rapporto tra gli assi maggiori vale all'incirca uno.

Le indagini condotte hanno evidenziato che l'81% della superficie è costituita da pietrame ed il rimanente 19% è invece formato da malta.

Gli spigoli di questo torrione rappresentano una peculiarità nel panorama dei casi di studio: essi sono costituiti da blocchi in pietra calcarea⁴⁷, nella parte basamentale e nella parte sommitale da laterizi, con tessitura alla gotica (fig. 29).

I blocchi calcarei sono di grande pezzatura e di forma allungata: il rapporto tra gli assi principali varia da 1,4 a 5,8. Sono stati messi in opera seguendo uno schema simile alla tessitura gotica, il più regolare possibile, per essere stato realizzato con blocchi naturali e quindi di dimensioni variabili.

I cantonali risultano ben ammorsati ai paramenti in pietra fluviale. La linea di demarcazione tra i diversi materiali non è né lineare né ben definita.

⁴⁷ Da un'attenta analisi visiva effettuata in sede di sopralluogo, la colorazione tendente al grigio chiaro e la bassa porosità, fanno ipotizzare che si tratti di blocchi in pietra calcarea, tuttavia non avendo la possibilità di effettuare prove sui materiali, la caratterizzazione dei blocchi in oggetto non può essere considerata completamente attendibile.

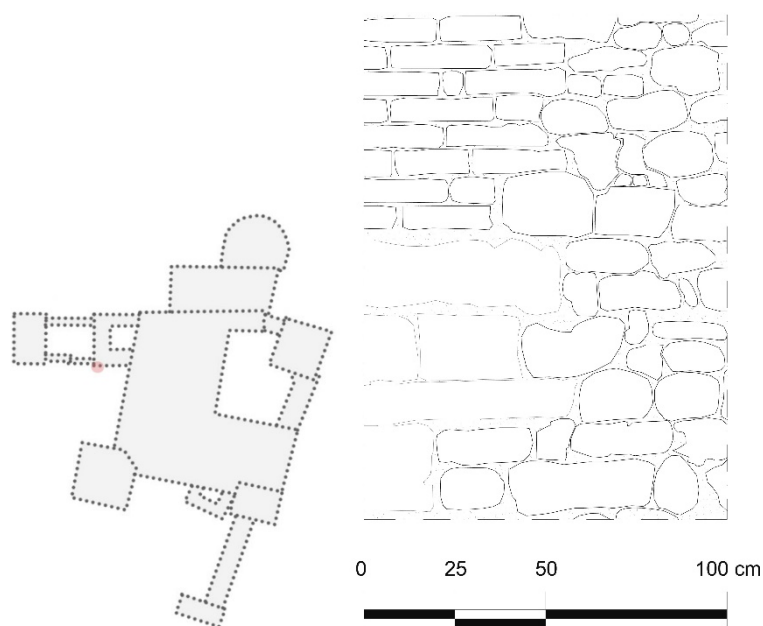


Figura 29 – Spigoli in pietra.

Altra combinazione tra elementi lapidei e laterizi, è stata riscontrata in corrispondenza delle scarpe relative il corpo ubicato a Nord dell'intero complesso vignolese (fig. 30).

Questo elemento architettonico risulta infatti costituito dalla sovrapposizione alternata di alcuni filari in pietra e di alcuni filari in laterizio. Non è possibile riscontrare una tessitura particolare e precisa nei due materiali utilizzati. Le linee che demarcano i cambi di materiale sono, nella maggior parte delle superfici indagate, ben definite, anche se non mancano parti in cui la regolare separazione dei materiali viene interrotta per poter mettere in opera blocchi aventi dimensioni particolari.

I quantitativi di pietrame e quelli di laterizi messi in opera sono all'incirca equivalenti: la proporzione tra superficie occupata dai blocchi fluviali e quella occupata dai laterizi è di 47 a 53.

Complessivamente la malta utilizzata per la messa in opera dei vari blocchi costituisce il 37% della superficie, mentre pietre e laterizi occupano il rimanente 63%.

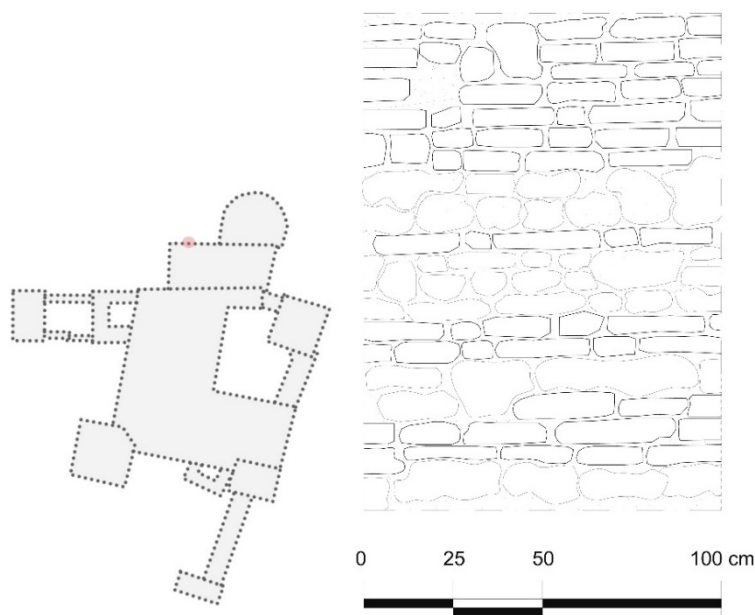


Figura 30 – Campionatura scarpe Rocca di Vignola.

Anche per quanto riguarda i nuclei centrali dei paramenti murari, studiati grazie alle sezioni messe in luce a causa dei meccanismi di danno innescatisi o a modifiche relative alle aperture, è stato possibile constatare, esclusivamente nel caso di Vignola, l'utilizzo di pietra (fig. 31).

Ad esempio, in corrispondenza di un'apertura al secondo piano del corpo Est, è stato possibile rilevare un nucleo in pietra di origine fluviale con spessore medio di 70 cm. I blocchi messi in opera, di dimensioni medio piccole, non hanno forme regolari e le linee di separazione fra il pietrame ed i laterizi costituenti i paramenti esterni, non sono ben definite. Essi sono disposti in maniera disordinata. La quantità di legante utilizzata occupa il 41% del nucleo centrale relativo alla superficie indagata ed i blocchi in pietra occupano il rimanente 59%.

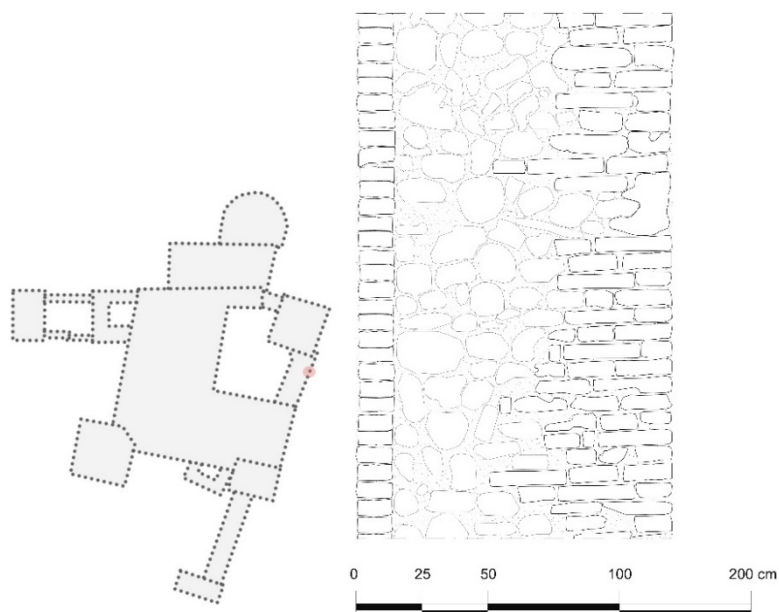


Figura 31 – Sezione costruttiva relativa al *Palatium Est* della *Rocca di Vignola*.

Complessivamente, la sezione costruttiva visibile mediante l'apertura di cui sopra, è formata partendo dall'esterno verso l'interno, da un paramento in laterizio ad una sola testa, dal nucleo centrale in conci di pietra fluviale, precedentemente descritto, ben ammorsato al paramento più interno, costituito totalmente in laterizio (fig. 32). I giunti di malta verticali della sezione, collocati tra paramento laterizio esterno e nucleo centrale, sono continui, mentre quelli ubicati tra nucleo centrale e paramento murario interno risultano discontinui.

I giunti sfalsati generalmente garantiscono una buona resistenza della muratura, mentre quelli continui possono spezzarsi ed instabilizzarsi più facilmente, portando ad un comportamento peggiore dell'apparato costruttivo.

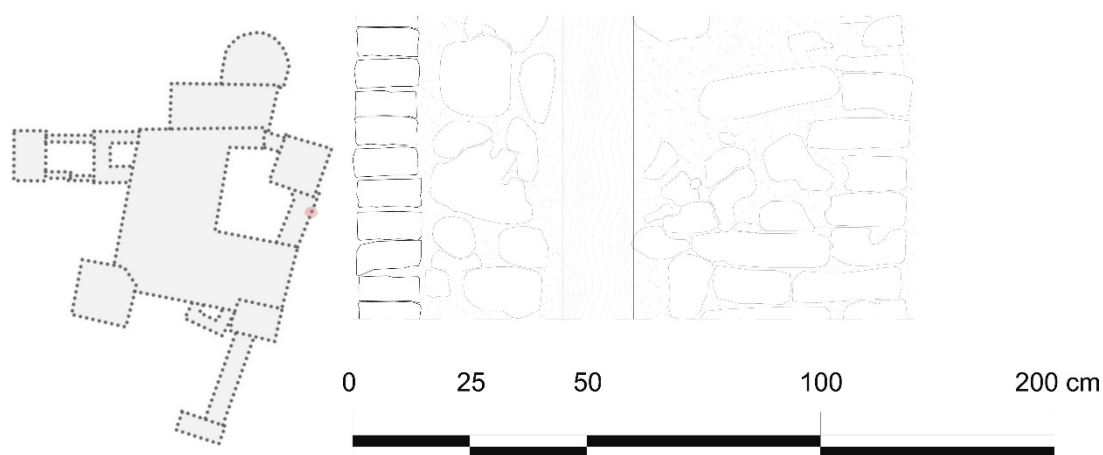


Figura 32 – Rilievo sezione visibile relativa al *Palatium Est* della *Rocca di Vignola*.

2.2.2 I muri a scarpa

I muri a scarpa sono degli allargamenti dei paramenti verticali alla base e costituiscono l'attacco a terra delle imponenti masse laterizie che formano le fortificazioni. Rappresentano un elemento innovativo della tarda pratica medioevale del fortificare, in quanto creano soluzioni difensive contro incursioni dei minatori e bombe incendiarie⁴⁸.

Ad eccezione della **Rocca di Reggiolo**, nella quale sia la cinta muraria che le torri angolari sono costituite da *muri perfettamente a piombo* (fig. 33), i muri a scarpa delineano l'attacco a terra di tutti i macroelementi strutturali presenti nella **Rocca di Vignola** e nelle **Rocche Estensi di Finale Emilia e di San Felice sul Panaro**. Quest'ultima tuttavia include l'eccezione che conferma la regola: la *torre portaia* collocata nella facciata Nord mostra un attacco a terra costituito da muri perfettamente a piombo.

L'attuale forma delle *scarpate* non coincide tuttavia con quella originaria in quanto le modifiche formali e strutturali apportate alle fortificazioni durante la loro storia, spesso hanno incluso la colmata dei *fossati* circostanti, quindi attualmente sono visibili soltanto parzialmente le *scarpe* originarie. Probabilmente è proprio per questo motivo che nella **Rocca di Cento** oggi non si possono apprezzare *scarpate* in nessuna porzione della fabbrica (fig. 34). Neanche nella **Rocca di Reggiolo** è possibile evidenziare le scarpe murarie, in questo caso però la mancanza non è dovuta dall'assenza di modifiche formali importanti, diacroniche rispetto alla costruzione dell'impianto originario.



Figura 33 - Rocca di Reggiolo, in evidenza la mancanza di scarpe in corrispondenza della torre Sud Est.

⁴⁸ A. Nicoli, *Il lungo autunno dei castelli estensi*, in G. Adani (a cura di), *Rocche fortificati castelli in Emilia Romagna Marche*, Edizioni Amilcare Pizzi, Cinisello Balsamo (MI), 1988, p. 58.



Figura 34 - Rocca di Cento, da notare l'assenza di scarpe in corrispondenza della torre Sud Ovest.

A conferma di questo, può essere considerato l'attacco a terra della **Rocca di San Felice sul Panaro**. Le *scarpe* attualmente visibili, appartenenti a ciascuna *torre angolare*, sono profonde 0,5 m circa e sono alte tra i 2,4 m ed i 2,5 m. Fa eccezione il *torrione* ubicato verso Nord-Est, per il quale la *scarpa* ha dimensioni più ridotte: soli 0,15 m di profondità per 0,8 m di altezza. Considerando l'antico *fossato* che lambiva questo elemento architettonico, è facile intuire che le dimensioni originarie di questa *scarpa* coincidevano perfettamente con quelle appartenenti agli altri *torrioni*.

Per quanto concerne invece la **Rocca di Vignola**, la dimensione di ciascuna *scarpa* varia secondo l'elemento architettonico cui essa fa riferimento. In particolar modo nei corpi di fabbrica esse possiedono altezze dell'ordine di 5,0 m, mentre in corrispondenza delle *torri* si aggirano attorno ai 2,5 m. La profondità non varia proporzionalmente all'altezza, infatti i corpi di fabbrica possiedono spessori compresi tra 0,5 m e 1,5 m, mentre per le torri le profondità sono pressoché costanti, di circa 0,5 m. Dal ragionamento effettuato consegue che il rapporto base-altezza delle scarpe non era regolato da precisi canoni, quindi la pendenza dell'attacco a terra variava di caso in caso.

Data l'importanza difensiva di questo elemento architettonico e le vicende storiche dei fossati appartenenti alle strutture fortificate, si può asserire che l'estrema variabilità dimensionale dell'attacco a scarpa va intesa come diretta conseguenza dei rimaneggiamenti storici e non come scelta

progettuale; quindi le scarpe probabilmente sono state realizzate in fase con le costruzioni cui appartengono e non rappresentano parti riportate in epoche successive.

È noto anche che il **Castello delle Rocche di Finale Emilia** era dotato di *scarpe* molto imponenti: alte 5 - 6 m oltre quelle attualmente visibili fuori terra.

Confrontando i rapporti intercorrenti tra spessore ed altezza delle scarpe⁴⁹ relative alle **Rocche di Finale Emilia, San Felice sul Panaro e Vignola**, quando esse appartengono ai macroelementi strutturali torri (di qualsiasi tipologia), l'angolo di inclinazione è pressoché costante e pari mediamente a 11°. Quando invece le scarpe afferiscono ai *palatium*, il suddetto angolo è minore e pari a circa 6° (figg. 35-36).

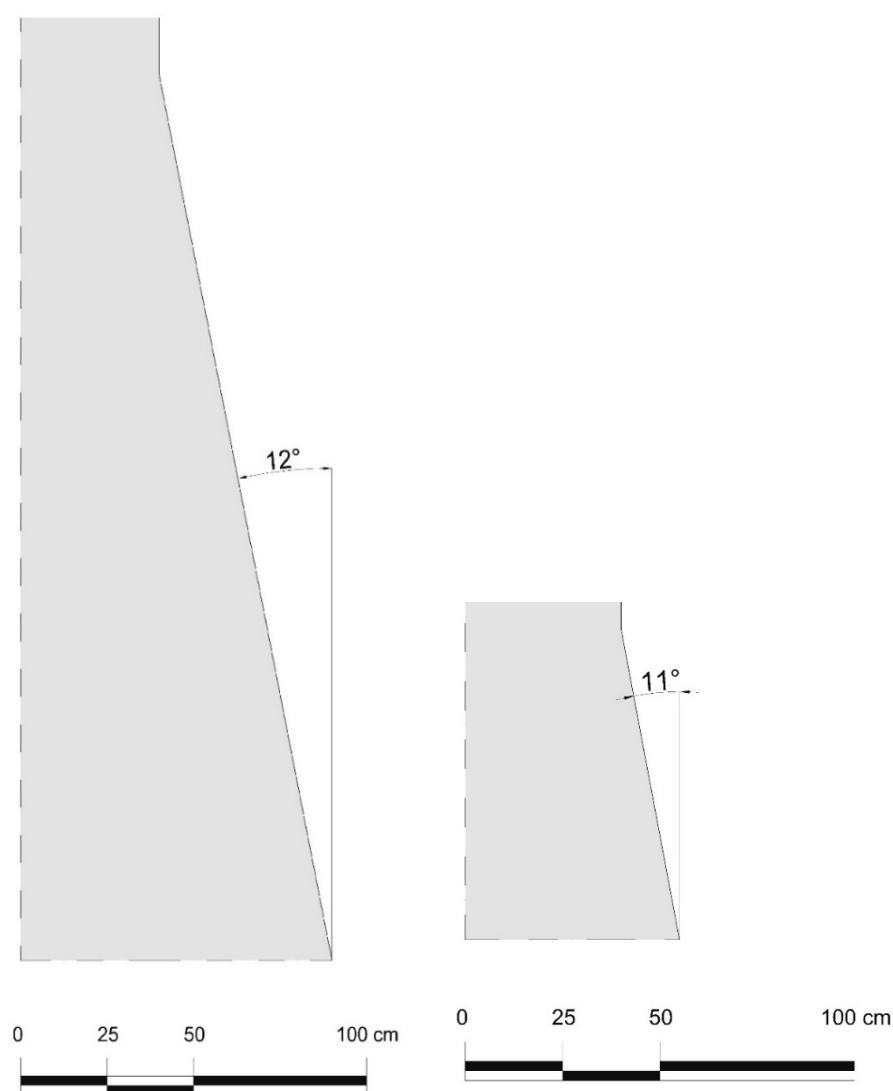


Figura 35 – Rocca di San Felice sul Panaro, a sinistra torri angolari e a destra torre ubicata a Nord-Est: coefficienti di inclinazione dei muri a scarpa.

⁴⁹ “[...] Con l’aumentare dell’efficacia delle armi da fuoco un metro di giudizio geometrico qualitativo per giudicare l’aderenza di un fortilizio alle nuove esigenze che si vanno codificando è costituito dalla percentuale di scarpa cioè dal rapporto fra altezza di questa ed altezza totale del tratto sotto l’apparato a sporgere [...]” (cfr. A. Ugolini, *op. cit.*, pp. 41-42).

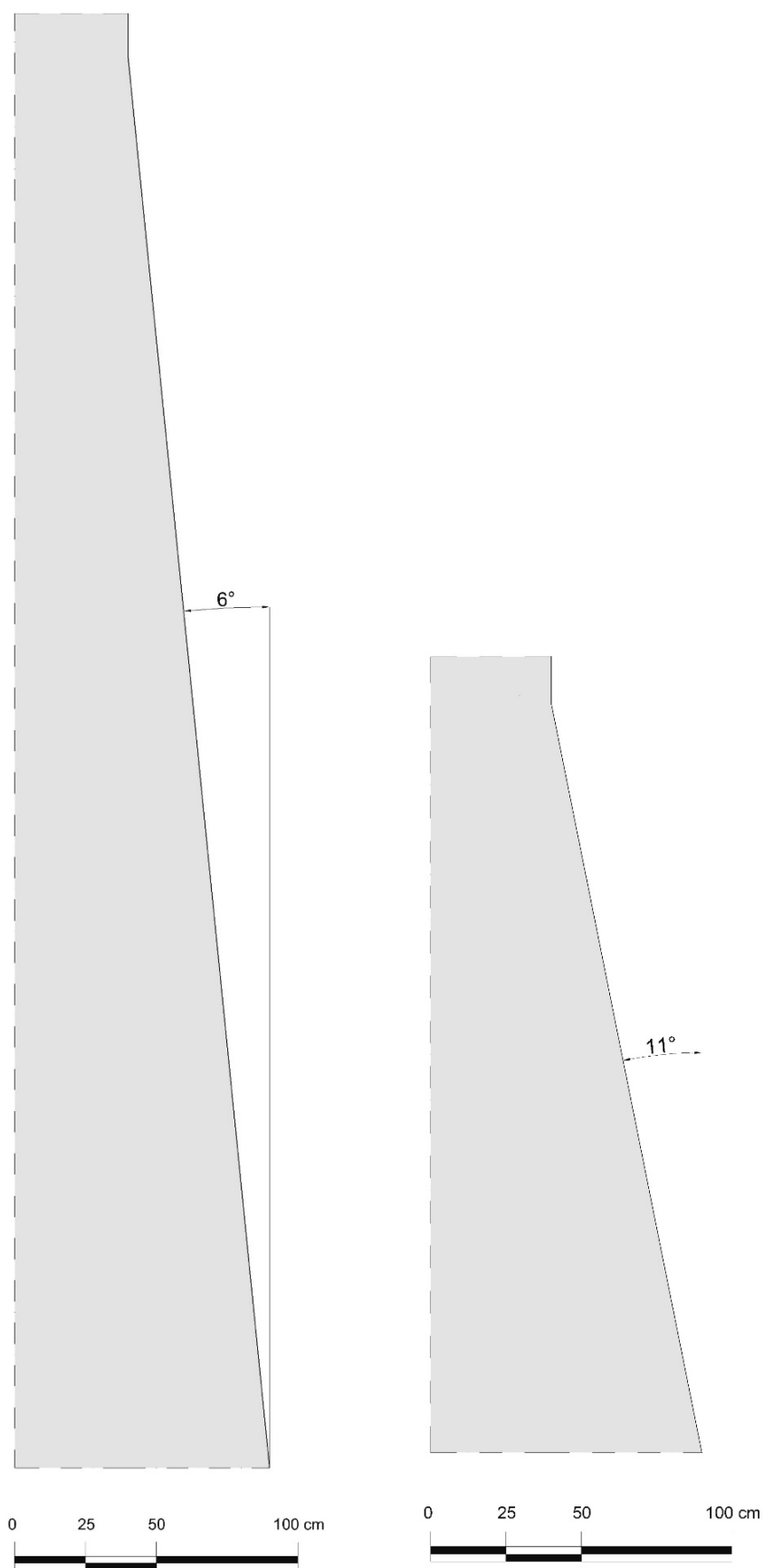


Figura 36 - Rocca di Vignola, a sinistra scarpe delle torri angolari e a destra dei *palatium*. Coefficienti di inclinazione dei muri a scarpa.

Per le *scarpate* sono stati utilizzati gli stessi materiali e le medesime tecniche costruttive dei paramenti murari. I laterizi sono stati disposti prevalentemente per faccia, ma la tessitura non segue una precisa alternanza tra gli elementi posizionati per faccia e quelli per coltello. L'assestamento dei mattoni segue le inclinazioni specifiche di ciascuna scarpata: le indagini visive effettuate mostrano che i laterizi appartenenti ai paramenti più esterni, sono stati messi in opera non parallelamente al terreno, ma in maniera tale che la faccia a contatto con l'aria segua la linea di inclinazione della scarpata stessa.

Oltre ad aver indagato e campionato le superfici murarie relative alle scarpe, è stato ritenuto opportuno nel presente approfondimento, prendere in considerazione le caratteristiche tecnologiche più importanti, quindi è stata ipotizzata una sezione muraria realistica. Il risultato di questa ricostruzione evidenzia che molto probabilmente trattasi di muri pieni in laterizio (fig. 37). Per questo motivo si può ipotizzare che esse siano nate contemporaneamente alla messa in opera dei muri in alzata cui appartengono.



Figura 37 – Castello delle Rocche di Finale Emilia, a sinistra coefficiente di inclinazione dei muri a scarpa, a destra sezione costruttiva ipotizzata.

La congiunzione tra muro verticale e scarpata veniva evidenziata mediante l'utilizzo di materiali differenti o diversamente posti in opera, quasi a voler sottolineare i due elementi architettonici e separarli almeno visivamente.

La tipologia più reiterata è costituita da un *corso di laterizi*, aggettante sia rispetto il *muro* verticale che rispetto la *scarpata*, distinguibile da tutti gli altri filari poiché avente profilo concavo, che richiama in qualche modo gli antichi tori delle colonne ioniche e corinzie (fig. 38). Questa tipologia è stata utilizzata nel manufatto vignolese, in quello finalese ed anche nella *torre maestra* del castello sanfeliciano.

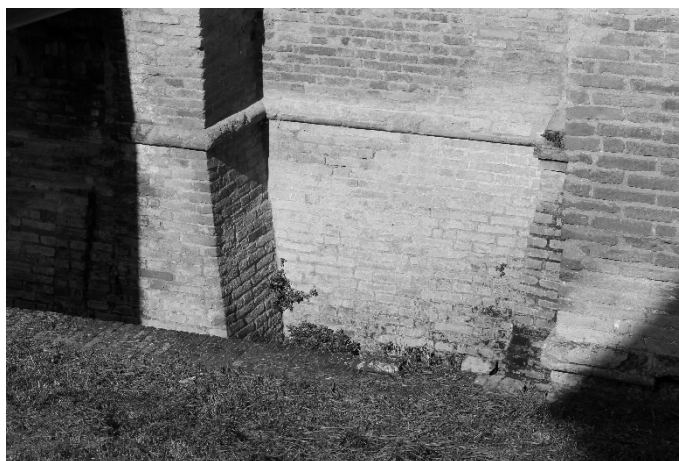


Figura 38 - Castello delle Rocche di Finale Emilia, giunzione scarpata paramento murario, in laterizio.

La modalità più semplice per separare i paramenti murari dalle scarpate, consiste nel raccordare i muri a piombo e quelli a scarpa mediante alcuni corsi laterizi, solitamente tre, aventi *inclinazione maggiore* rispetto quella delle scarpate. Questa tipologia, nella quale non variano né i materiali utilizzati, né la modalità di posa in opera, evidenzia la continuità materica dei due elementi architettonici, ma allo stesso tempo ne mette in mostra le peculiarità, variando bruscamente la sezione. È una soluzione riscontrabile in tutte le torri della **Rocca di San Felice sul Panaro** (fig. 39), ad eccezione di quella principale, menzionata poco sopra.

Altro tipo di raccordo paramento murario – scarpa è stato realizzato mediante un cambio di sezione tra i due elementi: il muro in alzato risulta concentrico rispetto quello a scarpa, come evincibile nella facciata Sud del **Castello delle Rocche**. Tuttavia considerando sia le condizioni materiche dei laterizi posti in opera in questa parte del manufatto, sia le caratteristiche formali della restante parte della fabbrica, è plausibile ipotizzare l'originaria presenza di un corso di laterizi aggettante ed avente profilo concavo.



Figura 39 - Rocca di San Felice sul Panaro, torre N-E, paramento murario e scarpa.

Soluzione più raffinata ed onerosa è quella spesso utilizzata in manufatti fortificati che nel tempo hanno assunto anche funzione di residenze lussuose, la quale prevede la messa in opera di *pietre* più o meno pregiate, per marcare lo stacco tra scarpate e paramenti murari. È questo il caso del **Castello di Ferrara**, nel quale tale giunzione è costituita da *pietra d'Istria*⁵⁰, scolpita a forma di un cordone, costituito da due fili intrecciati: uno liscio e l'altro decorato con forme floreali (fig. 40). Soltanto nei rivellini è stata adottata la strategia di mettere in opera laterizi aggettanti, con profilo concavo. Va inoltre notato che la stessa pietra è stata utilizzata per realizzare i parapetti dei balconi, le colonne del portico interno, gli stemmi in corrispondenza degli ingressi e le paraste del loggiato al primo piano.



Figura 40 - Castello di Ferrara, giunzione scarpata – paramento murario, in pietra d'Istria.

⁵⁰ A. Nicoli, *op. cit.*, p. 58.

2.2.3 Le coperture

Nei casi di studio presi in esame è stato constatato l'utilizzo del legno nella costruzione, successiva rispetto gli impianti fortificati originari, dei *pacchetti di copertura* di torrioni e degli altri *corpi di fabbrica*.

I crolli rilevati a *San Felice sul Panaro* hanno messo in luce travetti lignei appartenenti prima dei crolli all'ossatura portante delle coperture, come evincibile dagli elaborati grafici analizzati (fig. 41).



Figura 41 – Macerie prodotte dai crolli che hanno interessato la torre centrale della facciata Nord della Rocca di San Felice sul Panaro.

Anche per quanto riguarda la *Rocca di Finale Emilia*, è possibile constatare dall'analisi del corpo collocato ad Est del complesso fortificato, un impalcato ligneo di copertura a doppia orditura (fig. 42), come messo in evidenza nelle sezioni in nostro possesso.



Figura 42 – Doppia orditura lignea afferente il *palatium* Est del Castello delle Rocche di Finale Emilia.

Soltanto per quanto concerne la *Rocca di Vignola*, i sopralluoghi effettuati hanno permesso di ispezionarne le strutture lignee. Infatti, essendo visitabile gran parte dei piani alti della Rocca, si è potuto constatare che sia le strutture portanti che quelle portate, afferenti le coperture, sono in legno (fig. 43).



Figura 43 – Sistema ligneo di copertura.

Dall'analisi visiva condotta, è stato rilevato che le incavallature sono formate da travi aventi sezione variabile e da travetti, di dimensioni minori.

Le travi utilizzate nella copertura degli “*alloggi degli Armigeri*”⁵¹ (fig. 44) hanno sezione rettangolare variabile: quelle che costituiscono le catene, hanno base di 18 cm ed altezza di 28 cm, mentre quelle che appartengono ai puntoni hanno sezione minore, ovvero base di 18 cm, ma altezza di 22 cm.

Le travi utilizzate invece per realizzare la copertura dei camminamenti di ronda hanno sezione pressoché quadrata, con lato di 15 cm. Le connessioni tra i vari elementi sono state realizzate mediante chiodatura.

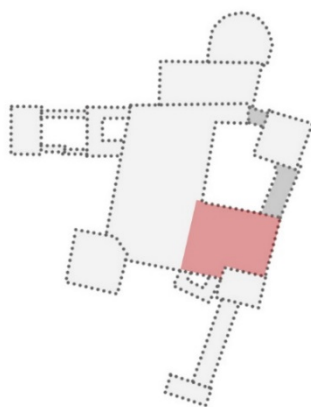


Figura 44 – In rosso la Sala degli Armigeri ed in grigio i camminamenti.

⁵¹ Così chiamati in quanto erano il luogo di residenza delle truppe di stanza nella Rocca. Durante alcuni interventi di pulitura e consolidamento, è emerso che anticamente erano ambienti confortevoli, in quanto dotati di controsoffittatura e camino per difendersi dalle intemperie invernali. Successivamente, quando il maniero non aveva più funzioni di avvistamento, gran parte degli alloggi iniziò ad essere adibita a prigione (cfr. G. Romani, M. Vicini, *La Rocca di Vignola*, Fondazione di Vignola, Vignola 2001, p. 59).

Le travi risultano in alcuni punti semplicemente appoggiate sulle murature (fig. 45) ed in altri punti invece le loro estremità sono inserite nelle sezioni murarie, anche attraverso l'utilizzo di perni metallici (fig. 46).



Figura 45 – Travi semplicemente appoggiate alle murature.



Figura 46 – Inserimento trave nella scatola muraria mediante perno metallico.

L'orditura secondaria è costituita in ogni porzione della Rocca da travetti aventi sezione costante, con base di 8 cm ed altezza di 10 cm. La struttura portata, evidentemente di recente realizzazione, è costituita invece da listelli aventi spessore di 2 cm e larghezza variabile tra i 5 cm ed i 10 cm. Sopra i listelli si appoggia il manto in coppi laterizi (fig. 47).

Non essendo possibile effettuare prove di laboratorio e non essendo le strutture lignee vignelesì in buono stato di conservazione, le analisi visive condotte non permettono di identificare la specie lignea dei vari elementi.

Dagli elaborati grafici consultati e dai sopralluoghi effettuati, non è stato possibile individuare la presenza di coperture lignee nelle *Rocche di Reggiolo e di Cento*.

Altro utilizzo degli elementi lignei, ipotizzabile dall'analisi dei paramenti murari, è correlato ai cantieri di costruzione. Infatti ancora oggi sono evidenti le file di *buche pontai* destinate a contenere travi di legno a sbalzo.



Figura 47 – Struttura portante (orditura primaria e secondaria) e portata.

La disposizione ad intervalli regolari di queste forometrie, è ben visibile in corrispondenza della facciata ubicata a Sud, del *corpo* Sud del Castello delle Rocche di Finale Emilia, ad altezza delle finestre del terzo piano. I buchi sono di forma all'incirca quadrata: la base di 8 cm supera di poco l'altezza di 6 cm. Nei casi in cui sono comprese tra due aperture consecutive soltanto due buche pontae, esse sono distanziate di circa 80 cm. Nei casi in cui invece sono presenti quattro fori nei maschi murari che separano due finestre, l'intervallo che le separa misura circa 50 cm. Tutte le buche pontae rilevate sono allineate orizzontalmente e distribuite in un'unica riga.

Anche la *Rocca di Reggiolo* è contraddistinta dalla presenza di buche pontae. Esse sono distribuite in tutti i prospetti del manufatto fortificato, seguendo lo stesso schema distributivo, ma nelle torri e nei *corpi* che costituiscono le facciate Sud, Ovest ed Est, tali fori occupano esclusivamente la parte superiore degli elementi architettonici: da metà altezza fino alla sommità di ognuno di essi. Dall'analisi dei rilievi fotografici, è stato possibile individuare il seguente schema distributivo: fori di forma pressoché quadrata, aventi il lato minore (verticale) di 15 cm e quello maggiore (orizzontale) di 17 cm, allineati sia in senso verticale che in senso orizzontale, ma ubicati ad intervalli variabili (dell'ordine di 1-2 m), in entrambe le direzioni.

Secondo analisi condotte sui rilievi dello stato di fatto dei reperti appartenenti alla *Rocca di San Felice sul Panaro*, è possibile ipotizzare che tutto il complesso fortificato sia stato costellato di buche pontae, disposte in maniera molto regolare. Per quanto ad oggi constatabile, i fori, aventi forma all'incirca quadrata, con il lato minore, cioè quello orizzontale di 19 cm e quello maggiore, ovvero quello verticale, di 22 cm, sono allineati sia in senso verticale che in senso orizzontale e sono disposti ai vertici di una maglia regolare con segmenti orizzontali di 180 cm e verticali di 360 cm.

Nel caso della *Rocca di Vignola* le buche pontae sono distribuite sia nei paramenti murari in laterizio che in quelli in pietra. Anche in questa fortificazione i fori hanno forma pressoché quadrata e dimensioni di 13 cm per 15 cm, tuttavia alcuni di essi hanno il lato maggiore come base, mentre altri lo hanno come altezza. In tutti gli elementi architettonici presi in considerazione, la maglia

descritta dai fori risulta regolare. Essi sono allineati sia verticalmente che orizzontalmente, ma ad intervalli molto variabili, per potersi adattare alla morfologia del manufatto.

L'unico manufatto nel quale durante i sopralluoghi effettuati non è stato possibile rilevare la presenza di questo genere di fonometrie, è la *Rocca di Cento*.

In tutti i casi presi in considerazione, le dimensioni contenute dei fori, lasciano intuire che i ponteggi lignei venivano realizzati con travi resistenti, ma di piccola sezione, più facilmente reperibili rispetto a travi con sezioni ampie e totalmente collaboranti.

Rappresentando i ponteggi lignei una costante dei cantieri medievali, la rarità delle tracce riscontrabili ad essi relative, nelle parti inferiori delle fortificazioni, è dovuta quasi certamente a motivi di sicurezza: è possibile infatti ipotizzare che i fori siano stati chiusi dagli stessi costruttori, per evitare di facilitare operazioni di assedio⁵².

⁵² In antichità il legno, oltre che essere sfruttato per gli usi sopra descritti, veniva utilizzato anche per “[...] tecniche di rinforzo applicate alla muratura che fin dall’antichità “has a very long history” questi interventi di rinforzo avrebbero avuto il compito di contrastare la distruzione delle strutture murarie causate da sollecitazioni legate a: 1) violenti movimenti (terremoti), 2) stress propri di murature appena costruite facenti parte di una struttura complessa [...]”. I meccanismi resistenti più utilizzati avrebbero dovuto appartenere a tre diverse tipologie: strutture lignee, comprensive di catene lignee, inserite all’interno della muratura per collegare tra loro, ad esempio, i muri di torri e circuiti fortificati; rinforzi in legno nelle fondazioni, al fine di creare un solido basamento su cui appoggiare l’edificio oppure rinforzi in legno e ferro, in corrispondenza delle strutture ad arco interne agli edifici, per contrastarne le spinte. “[...] Nell’Europa “barbara” furono usati solo nei bastioni difensivi e più genericamente nelle fortificazioni [...]” (cfr. C. Pietramellara, *L’uso del legno nelle murature antiche*, in L. Marino, C. Pietramellara (a cura di), *Tecniche edili tradizionali*, Alinea Editrice, Siena 1999, p. 39).

2.2.4 Le strutture voltate

All'interno delle rocche oggetto di approfondimento sono presenti sistemi spingenti in muratura, sebbene questi ultimi non siano visibili dall'esterno dei manufatti.

Le strutture voltate sono considerate comunemente “[...] come un'estensione spaziale degli archi bidimensionali [...] in quanto basate sugli stessi principi costruttivi e regolate dalle medesime leggi della statica [...]”⁵³.

Le volte utilizzate per coprire le significative luci delle fortificazioni indagate non sono distinguibili da un caso all'altro tanto per i materiali utilizzati, poiché realizzate in ciascun esemplare attraverso la posa in opera dei medesimi laterizi già visti a proposito delle strutture verticali, quanto per la configurazione geometrica, la tipologia edilizia, il livello di finitura ed anche il grado di decorazione.

In ognuno dei manufatti indagati è stata riscontrata solo sporadicamente la ripetizione dello stesso modulo voltato, infatti molto spesso lo spazio coperto da volte varia e di conseguenza anche il modulo voltato cambia.

Il rilievo geometrico della **Rocca di Cento** fornisce una descrizione dettagliata delle strutture voltate, quindi sebbene non sia stato possibile indagare queste ultime dal vero, è stato possibile analizzarne le caratteristiche geometriche e tipologiche più importanti.

La maggior parte delle volte presenti nella fortezza di Cento è a botte, solo una piccola percentuale è costituita da volte a crociera. Quest'ultima tipologia è stata utilizzata esclusivamente a livello del piano di campagna della *torre* affiancata alla *torre portaia* della facciata Nord.

Dalle analisi condotte è stato rilevato che il profilo utilizzato, per tutte le volte, è costituito da archi a sesto ribassato negli interrati e da archi a tutto sesto al piano terra, come a voler marcare la differenza tra piani di servizio e piani strategici, aumentando dal basso verso l'alto il prestigio del maniero.

Da un punto di vista dimensionale, in corrispondenza del corpo sud i rinfranchi⁵⁴ sono costituiti da muri aventi spessore compreso tra 0,8 e 0,9 m in un lato e di circa 0,6 m sull'altro. Lo spessore della volta invece è di 0,4 m al piano interrato e scende a 0,3 m circa al piano terra. Questo sistema voltato copre una luce di 3 m. La freccia dei profili è pari a 0,2 m per l'arco a sesto ribassato utilizzato

⁵³ G. Cangi, *Manuale del Recupero...*, p.92.

⁵⁴ “[...] Uno dei più antichi metodi di progettazione statica è una costruzione geometrica diretta al proporzionamento dei piedritti. Questi, come è noto devono contrastare con il loro peso la spinta dell'arco. La stessa costruzione vale, naturalmente, per proporzionare i muri d'ambito di una volta a botte [...]” (cfr. A. Giuffrè, *Monumenti e terremoti, aspetti statici del restauro*, Multigrafica Editrice, Roma 1988, p. 74). E. Viollet le Duc descrive la stessa regola, attribuendone l'origine ai costruttori gotici (cfr. E. Viollet le Duc, *L'architettura ragionata: estratti dal Dizionario*, Jaca Book, Milano 1982, p. 113).

in corrispondenza dell'interrato e a 0,75 m per l'arco a tutto sesto del piano terra. Quindi il rapporto tra freccia e luce risulta pari a 0,67 in corrispondenza del piano interrato, mentre al piano terra scende a 0,25. Invece il rapporto tra luce e rinfiango è pari a 5 per quanto riguarda l'interrato e varia da 3,33 a 3,75 al piano terra.

In corrispondenza dell'*edificio* ovest non è stato possibile definire lo spessore dei rinfianghi a causa della presenza di muri a scarpa e terrapieni, tuttavia lo spessore minimo riscontrabile è pari a 0,4 m. Lo spessore della volta nell'interrato è pari a 0,4 m. Nel *corpo* ovest, contrariamente a quanto evidenziato in quello ubicato a sud, lo spessore della volta al piano terra è maggiore rispetto quello al piano interrato ed anche variabile, tra 0,45 e 0,90 m. Questo sistema voltato, costituito da due volte a botte affiancate, copre una luce variabile dai 3 m ai 4,6 m. La freccia dei profili è pari a 0,3 m per l'arco a sesto ribassato utilizzato in corrispondenza dell'interrato e per l'arco a tutto sesto del piano terra: da 0,8 a 1,2 m. Il rapporto tra freccia e luce risulta pari a 0,1 in corrispondenza del piano interrato e al piano terra varia da 0,17 a 0,29. Invece il rapporto tra luce e rinfiango in questo caso non risulta quantificabile, a causa della mancanza di informazioni relative lo spessore dell'ultimo elemento.

Dallo studio condotto sulla geometria dei sistemi voltati centesi, non sono emerse regolarità relative le dimensioni delle celle coperte da volte.

Attraverso l'analisi delle caratteristiche dimensionali e tipologiche degli elementi architettonici in oggetto, è stato possibile capire in che modo questi sistemi di copertura trasmettono le azioni ai piedritti e si è cercato di evidenziare, nelle planimetrie di seguito riportate, le zone maggiormente sollecitate (fig. 48). In corrispondenza del *corpo* ovest, i sistemi voltati scaricano le sollecitazioni sia sui muri perimetrali che sul muro di spina centrale, tra loro non paralleli. Un sistema simile è stato riscontrato anche in corrispondenza dell'*edificio* sud. In questo caso, essendo presente un solo corridoio voltato, i piedritti coincidono con i muri perimetrali. Le volte a botte del piano interrato della *torre* affiancata alla *torre portaia* Nord invece scaricano nei muri, in parte perimetrali ed in parte interni, collocati verso nord e verso sud. Al piano terra della medesima *torre*, essendo presenti volte a crociera, il sistema di scarico si manifesta in corrispondenza degli spigoli dell'elemento architettonico preso ora in considerazione.

Le piante del rilievo del **Castello delle Rocche di Finale Emilia** non forniscono alcuna informazione delle strutture voltate, ma tali elementi architettonici sono stati descritti dettagliatamente sia in prospetto che in sezione. Inoltre i sopralluoghi effettuati presso il maniero in oggetto, sebbene non abbiano permesso un'indagine completa e dettagliata dei sistemi voltati, a causa dell'inagibilità di buona parte della fortificazione, hanno contribuito ad analizzarne in piccola parte le caratteristiche geometrico-tipologiche e materiche.

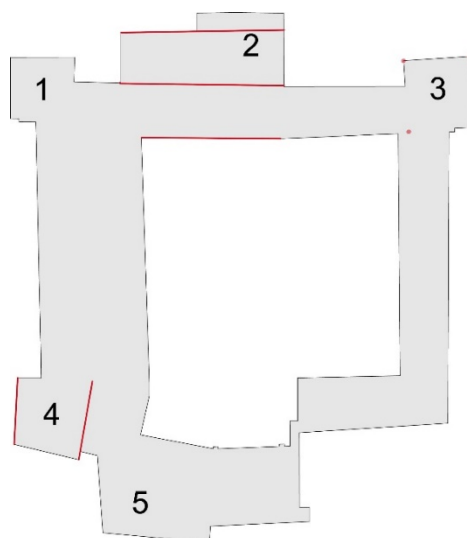


Figura 48 – Rocca di Cento: rappresentazione delle modalità di trasmissione delle sollecitazioni dalle volte ai piedritti. Le linee rosse simboleggiano i sistemi di scarico delle volte a botte, i punti rossi indicano le zone di scarico delle volte a crociera.

Le volte presenti nella fortezza di Finale Emilia sono a botte, sia quelle appartenenti agli elementi più antichi del complesso, sia quelle che costituiscono il tardivo loggiato di Giovanni da Siena. Solo in corrispondenza del porticato interno a piano terra, è possibile visionare volte a crociera.

Nella rocca finalese si assiste spesso alla costituzione di veri e propri sistemi costruttivi voltati, come ad esempio in ciascun piano del *corpo* sud, nel quale è rilevabile un sistema di quattro volte a botte tra loro affiancate.

Una particolarità è rappresentata dalle volte a botte con generatrice inclinata, rilevabili in corrispondenza dei piani interrati degli edifici sud ed est. Altra peculiarità riscontrata è riferibile alle generatrici non parallele ai muri di rinfiango del piano terra dell'edificio est.

Anche per quanto riguarda la rocca finalese, è stato rilevato che il profilo utilizzato, per tutte le volte, è costituito da archi a sesto ribassato negli interrati e da archi a tutto sesto al piano terra ed al piano primo. Ad esclusione delle *torri*, per tutti gli altri elementi architettonici del complesso, tra le differenze costruttive fra piani di servizio e piani strategici, utilizzate per evidenziare il senso crescente di prestigio del maniero dal basso verso l'alto, va annoverata anche la presenza di conci laterizi a vista esclusivamente in corrispondenza delle volte del piano primo.

Il loggiato cinquecentesco, seppur ricchissimo di adornamenti, non può essere preso in considerazione per avvalorare l'ipotesi di crescente senso di prestigio esposta poco sopra, in quanto esso fu costruito con esclusivo scopo decorativo e i tre ordini di volte a botte sovrapposti, per quanto evincibile dai reperti conservatisi post-sisma, risultano identici tra loro.

Da un punto di vista dimensionale, in corrispondenza dell'edificio sud i rinfiangi non sono misurabili esattamente in quanto lo stesso rinfiango risulta comune a due volte adiacenti, tuttavia in tutti i piani, l'ordine di grandezza è di circa 0,80 m. Lo spessore delle volte è definibile soltanto per

quanto riguarda quelle collocate al piano primo, unico caso in cui i conci laterizi sono stati lasciati a vista. Essendo le ghiera costituite da mattoni disposti di fianco, lo spessore è di circa 0,31 m. Questi sistemi voltati coprono luci differenti secondo il piano preso in esame, comunque in tutti i casi comprese fra 4,5 e 6,5 m. La freccia dei profili aumenta salendo dall'interrato verso i piani più alti, varia fra 1,2 e 1,8 m. Quindi il rapporto tra freccia e luce non assume un valore costante, ma varia fra 0,20 e 0,29 al piano interrato, fra 0,26 e 0,36 al piano terra e fra 0,18 e 0,4 al piano primo, cresce procedendo dal basso verso l'alto. Anche il rapporto tra luce e rinfiango non risulta costante né all'interno dello stesso piano, né tenendo in considerazione piani diversi, infatti esso è compreso fra 12 e 15,3 al piano interrato, fra 12,5 e 15,5 al piano terra e fra 11,3 e 16,3 per quanto riguarda il primo piano. In questo caso non è possibile individuare diminuzioni o aumenti ascendendo.

In corrispondenza del *corpo* est, la freccia dei profili presenta una lunghezza pari a 1,2 m, compatibile con quanto visto a proposito dell'edificio sud. Anche in questo caso lo spessore dei rinfianghi non è delineabile con precisione, in quanto comune a due volte adiacenti, tuttavia per tutti i piani presi in considerazione è di circa 0,6 m. Le luci coperte dai sistemi voltati del *corpo* est, di poco superiori ai 3,0 m, sono inferiori rispetto quelle già viste nell'edificio sud. Quindi il rapporto tra freccia e luce risulta pari a 0,4 e il rapporto tra luce e rinfiango è di 10.

Per quanto concerne le volte presenti nel loggiato cinquecentesco, il rinfiango, comune a due volte affiancate, varia secondo il piano che si considera: si parla infatti di 2,0 m per il piano terra e di 1,0 m per il piano primo. La freccia dei profili invece rimane identica in tutti i piani e di poco inferiore a 1,0 m. Anche le luci coperte sono identiche, di circa 6,0 m. Non è stato possibile neanche in questo caso determinare lo spessore degli elementi voltati.

Quindi il rapporto tra freccia e luce, pari a 0,3, rappresenta un valore costante fra i vari piani. Per il rapporto tra luce e rinfiango invece è differente da piano a piano; esso vale 6 in corrispondenza del piano terra e 12 al piano primo.

Dallo studio condotto sulla geometria dei sistemi voltati finali, sono emerse alcune regolarità relative le dimensioni di questi ultimi. Nei casi in cui essi appartengono allo stesso elemento architettonico, è stata individuata la ripetizione in ciascun piano, di una cella avente dimensioni costanti. Nel Castello delle Rocche quindi è possibile mettere in evidenza la ripetizione in ogni piano di un modulo voltato nel loggiato cinquecentesco, di un altro nell'edificio est e di una terza cella all'interno del *corpo* sud.

Mediante l'analisi delle caratteristiche dimensionali e tipologiche degli elementi architettonici in oggetto, è stato studiato in che modo questi sistemi trasmettono le azioni ai piedritti e si è cercato di evidenziare, nelle planimetrie di seguito riportate, le zone maggiormente sollecitate (fig. 49). In corrispondenza del *corpo* sud, lo schema di scarico coincide con il sistema di orditura dei rinfianghi, ovvero i sistemi voltati trasmettono completamente le loro azioni su tramezzi interni, perpendicolari

alle facciate principali, perfettamente sovrapposti tra un piano e l'altro. Sistemi di scarico simili, ma di dimensioni ridotte, sono stati riscontrati anche in corrispondenza dell'*edificio* est e del loggiato. In quest'ultimo caso tuttavia è stata notata una particolarità: nel terzo ordine, la trasmissione delle sollecitazioni avviene utilizzando esclusivamente pilastri, alcuni allineati verticalmente con i setti di cui sopra ed altri in corrispondenza dei conci di chiave degli archi appartenenti al secondo ordine.

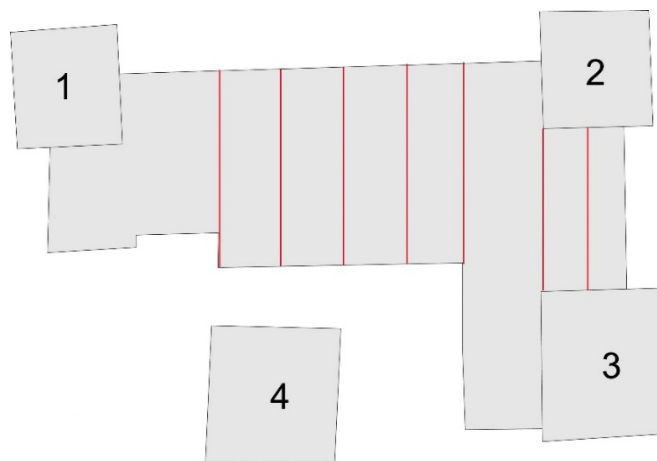


Figura 49 – Castello delle Rocche di Finale Emilia: rappresentazione delle modalità di trasmissione delle sollecitazioni dalle volte ai piedritti. Le linee rosse simboleggiano i sistemi di scarico delle volte a botte, i punti rossi indicano le zone di scarico delle volte a crociera.

I materiali utilizzati nella costruzione dei sistemi voltati, per quanto appurabile dagli studi condotti, sono gli stessi messi in opera per realizzare gli altri elementi architettonici: laterizi e malta. I mattoni sono stati disposti in maniera regolare, ma esclusivamente in corrispondenza del loggiato, sono stati utilizzati anche in maniera decorativa. Essendo stati disposti in corrispondenza di ciascun arco o per testa, o per coltello o in diagonale, essi donano ad ogni curva, un diverso effetto ornamentale. Inoltre, esclusivamente nel loggiato in oggetto, sono stati utilizzati anche capitelli in pietra, come decorazione.

Negli elementi architettonici della **Rocca di San Felice sul Panaro**, le *volte* sono tutte a botte. Una particolarità è rilevabile in corrispondenza del *corpo* ovest, ove i sistemi voltati appartenenti al secondo e al terzo livello sono identici. Sempre in corrispondenza del medesimo *edificio*, nel livello interrato, le volte a botte presentano profili ad arco a tutto sesto, ma irregolari.

Per quanto si è potuto invece accertare per le *torri*, la tipologia di volte varia secondo il livello e il macroelemento architettonico preso in considerazione.

Nelle *Torri 2, 3 e 5*, tutte le volte indagate, rispettivamente ai livelli 1 e 2, terra e 1, 1 e 3, sono a botte. Nella *Torre 1*, al piano terra e al piano secondo, le volte sono a schifo, mentre al terzo livello sono a botte. La *Torre 4* presenta volte a crociera ai piani terra, secondo e sesto. In corrispondenza di quest'ultimo livello, ovvero dell'attuale sottotetto, i profili degli archi sono a sesto acuto. Altra

particolarità riscontrabile nella torre in oggetto, risiede al piano terzo, ove è possibile riscontrare la presenza di volte su due livelli.

Dallo studio condotto sulla geometria dei sistemi voltati sanfeliciani, sono emerse alcune regolarità relative le dimensioni di questi ultimi⁵⁵. Nei casi in cui essi appartengono alla medesima torre, è stato infatti possibile individuare il ripetersi in ciascun piano, di una cella avente dimensioni costanti. Nella Rocca di San Felice quindi è possibile mettere in evidenza la ripetizione in ogni piano di un modulo voltato nelle *Torri 1 – 2 – 3 – 4*, mentre per la *Torre 5* e gli altri elementi architettonici, non si è potuta formulare tale ipotesi a causa della mancanza di elaborati.

Studiando le caratteristiche dimensionali e tipologiche degli elementi architettonici in oggetto, sono state analizzate le modalità di trasmissione delle azioni dai sistemi voltati ai piedritti (figg. 50-51-52-53-54). In corrispondenza dell'edificio ovest, il sistema di scarico ricalca l'orditura dei rinfianchi, cioè le volte scaricano completamente le loro azioni sui muri perimetrali. Sistemi di scarico diversi sono stati riscontrati in corrispondenza degli altri corpi. Essi si differenziano da quanto descritto per l'edificio ovest, non soltanto per le dimensioni ridotte, ma anche per i muri interessati. Infatti nell'elemento retrostante la *Torre 1*, le volte scaricano tutte le azioni in muri sia interni che perimetrali. Nel corpo sud la trasmissione delle azioni interessa solo due dei quattro muri perimetrali. Nel caso di volte a schifo e a crociera delle *torri*, le sollecitazioni vengono concentrate nei vertici dei *torrioni*, mentre nei casi più diffusi di volte a botte, le azioni vengono scaricate sui muri perimetrali, perfettamente sovrapposti tra un piano e l'altro, ad eccezione di quanto avviene nella *Torre 2*.

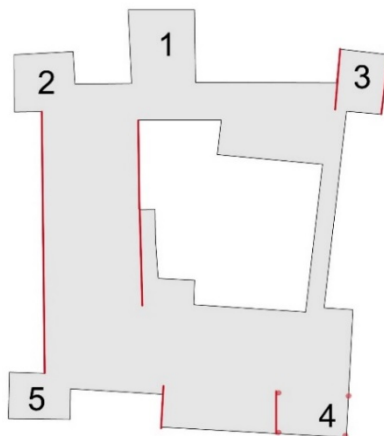


Figura 50 – Rocca di San Felice sul Panaro, interrato: rappresentazione delle modalità di trasmissione delle sollecitazioni dalle volte ai piedritti. Le linee rosse simboleggiano i sistemi di scarico delle volte a botte, i punti rossi indicano le zone di scarico delle volte a crociera.

⁵⁵ Si tralascia l'analisi dei dati dimensionali realizzata per la Rocca di San Felice così come per gli altri quattro casi studio.

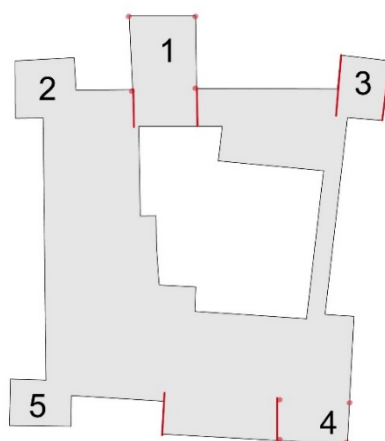


Figura 51 - Rocca di San Felice sul Panaro, piano terra: rappresentazione delle modalità di trasmissione delle sollecitazioni dalle volte ai piedritti. Le linee rosse simboleggiano i sistemi di scarico delle volte a botte, i punti rossi indicano le zone di scarico delle volte a crociera.

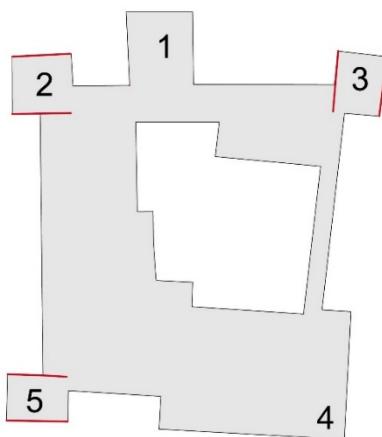


Figura 52 - Rocca di San Felice sul Panaro, piano primo: rappresentazione delle modalità di trasmissione delle sollecitazioni dalle volte ai piedritti. Le linee rosse simboleggiano i sistemi di scarico delle volte a botte.

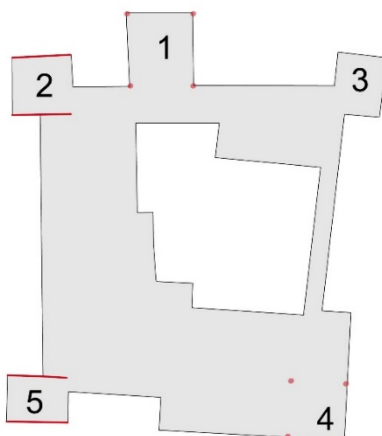


Figura 53 - Rocca di San Felice sul Panaro, piano secondo: rappresentazione delle modalità di trasmissione delle sollecitazioni dalle volte ai piedritti. Le linee rosse simboleggiano i sistemi di scarico delle volte a botte.

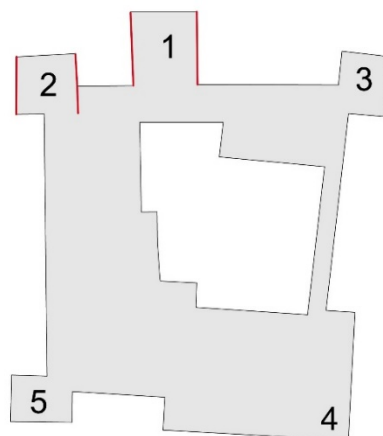


Figura 54 - Rocca di San Felice sul Panaro, piano terzo: rappresentazione delle modalità di trasmissione delle sollecitazioni dalle volte ai piedritti. Le linee rosse simboleggiano i sistemi di scarico delle volte a botte, i punti rossi indicano le zone di scarico delle volte a crociera.

L'inagibilità della Rocca di San Felice, causa di impedimento per i sopralluoghi, l'irreperibilità di rilievi architettonici sufficientemente dettagliati, relativi lo stato di fatto ante sisma, e la mancanza di fotografie relative particolari costruttivi del manufatto in oggetto, non permettono di redigere un approfondimento relativo i materiali messi in opera, ma la comparazione con gli altri casi di studio fa presupporre che i sistemi voltati siano stati realizzati anche in questo caso adoperando gli stessi materiali utilizzati per realizzare gli altri elementi architettonici, cioè laterizi e malta.

Gli elaborati grafici relativi il rilievo della **Rocca di Vignola** descrivono dettagliatamente le strutture voltate sia a livello planimetrico sia in prospettiva che in sezione. Inoltre i sopralluoghi effettuati hanno permesso un'indagine visiva completa dei sistemi voltati ispezionabili, contribuendo ad analizzarne le caratteristiche geometrico-tipologiche e materiche, in quanto nessuna porzione del sistema fortificato era inagibile al momento dei controlli *in loco*.

Fra tutti i casi di approfondimento analizzati solo nella Rocca in oggetto è stato possibile ispezionare ogni sua parte.

In corrispondenza del sottotetto non è stata riscontrata la presenza di strutture voltate, quanto di orditure lignee.

Alcune delle volte presenti nella fortezza di Vignola sono a botte e altre a crociera, non seguono una precisa disposizione o alternanza tra i vari elementi strutturali.

Una particolarità è rappresentata dai sistemi rilevabili in corrispondenza dei piani terra e primo dell'edificio sud. Nel primo caso infatti i rilievi evidenziano la presenza di una volta a botte ed una a crociera affiancate lungo il lato minore, mentre nel secondo lo stesso tipo di giustapposizione avviene tra due volte a crociera. In tutti gli altri casi non è stato possibile rilevare la presenza di sistemi voltati costituiti dall'affiancamento di più volte.

Anche per quanto riguarda la Rocca di Vignola, è stato rilevato che il profilo utilizzato maggiormente, è costituito da archi a tutto sesto. L'unica eccezione riscontrata è costituita dagli archi a sesto acuto presenti in corrispondenza del lato ovest della *pusterla*⁵⁶.

Dalle analisi visive effettuate in sede di sopralluogo, è stato possibile evincere che anche nella fortificazione in oggetto i sistemi voltati sono stati realizzati utilizzando laterizi, legati con malte di calce. Nelle volte a crociera, in corrispondenza delle *costolonature*, i laterizi sono stati disposti per coltello, in maniera estremamente regolare, forse ipotizzando che sarebbero rimasti a vista. Le *vele* invece evidenziano una tessitura mista, abbastanza regolare e male ammorsata ai muri di rinfianco, secondo quanto accertabile dalle porzioni non intonacate (fig. 55).

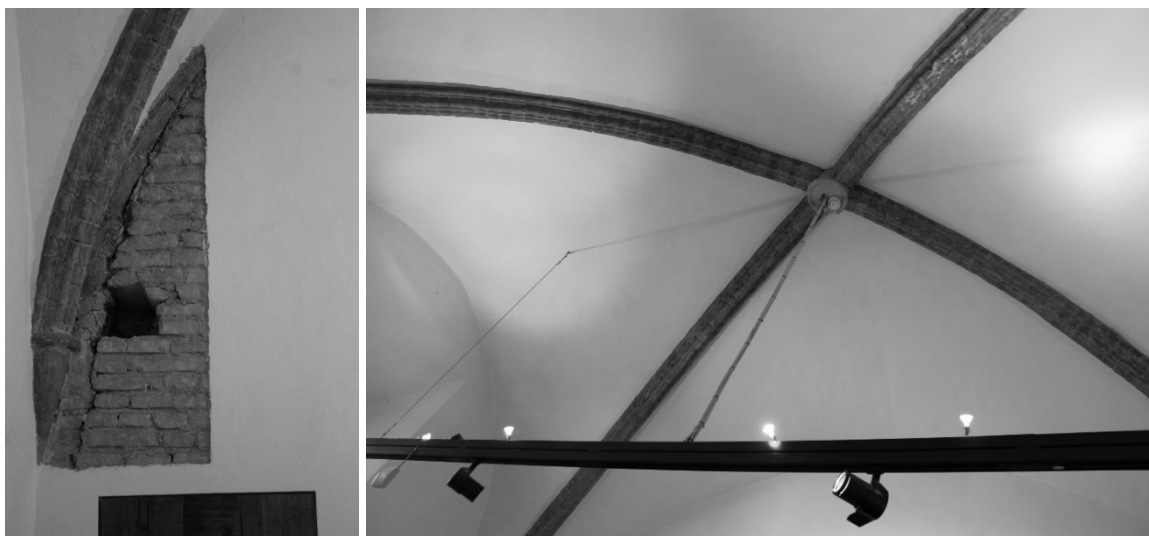


Figura 55 - Rocca di Vignola. Rielaborazione rilievo fotografico. Da sinistra verso destra: particolare della connessione tra rinfianchi murari e vele; costolonature in laterizio, preservate dall'intonaco.

Il complesso fortificato ora preso in esame, risulta essere l'unico nel quale è possibile ammirare tuttora sistemi voltati affrescati (fig. 56).

Da un punto di vista dimensionale i rinfianchi sono misurabili in tutti gli elementi strutturali più importanti, ad eccezione della *Rocchetta Nord*, in quanto questo elemento non è oggetto di alcuna sezione. In tutti gli elementi analizzati, i rinfianchi negli interrati non sono rilevabili. Nei piani fuori terra i rinfianchi hanno caratteristiche differenti secondo l'elemento strutturale cui appartengono.

Studiando le caratteristiche dimensionali e tipologiche degli elementi architettonici in oggetto, si sono passate in rassegna le modalità di trasmissione delle azioni dai sistemi voltati ai piedritti (figg. 57-58-59-60-61).

Le volte a botte presenti hanno un sistema di scarico che coincide in gran parte con i muri perimetrali orditi in senso nord-sud. Quelle invece relative al corpo sud sfruttano i muri perimetrali orditi in senso est-ovest come sistema di scarico delle spinte. Le volte a crociera presenti scaricano puntualmente le

⁵⁶ G. Romani, M. Vicini, *op. cit.*, p. 85.

azioni: nelle *torri*, in corrispondenza dei vertici, mentre negli altri elementi architettonici in corrispondenza di vari punti dei muri di imposta.



Figura 56 - Rocca di Vignola. Rielaborazione rilievo fotografico. Particolare degli affreschi che ricoprono le volte a crociera presenti.

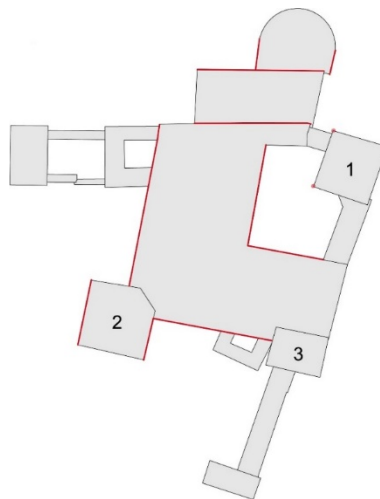


Figura 57 - Rocca di Vignola, piano interrato: rappresentazione delle modalità di trasmissione delle sollecitazioni dalle volte ai piedritti. Le linee rosse simboleggiano i sistemi di scarico delle volte a botte, i punti rossi indicano le zone di scarico delle volte a crociera.

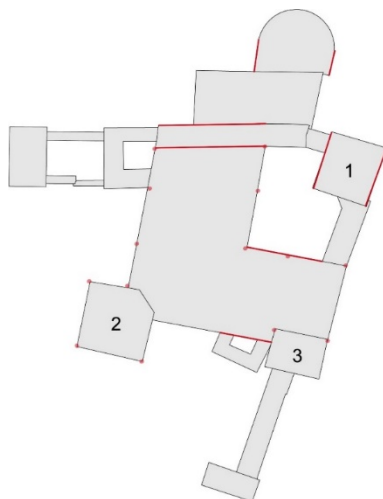


Figura 58 - Rocca di Vignola, piano terra: rappresentazione delle modalità di trasmissione delle sollecitazioni dalle volte ai piedritti. Le linee rosse simboleggiano i sistemi di scarico delle volte a botte, i punti rossi indicano le zone di scarico delle volte a crociera.

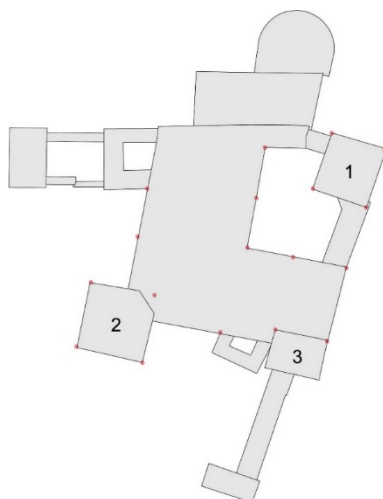


Figura 59 - Rocca di Vignola, piano primo: rappresentazione delle modalità di trasmissione delle sollecitazioni dalle volte ai piedritti. Le linee rosse simboleggiano i sistemi di scarico delle volte a botte, i punti rossi indicano le zone di scarico delle volte a crociera.

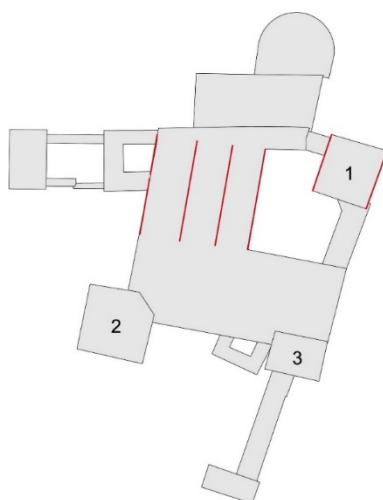


Figura 60 - Rocca di Vignola, piano secondo: rappresentazione delle modalità di trasmissione delle sollecitazioni dalle volte ai piedritti. Le linee rosse simboleggiano i sistemi di scarico delle volte a botte.

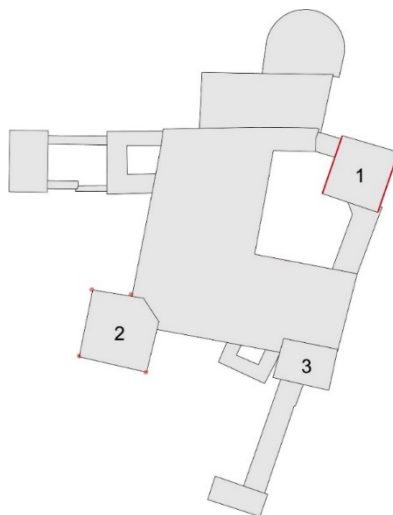


Figura 61 - Rocca di Vignola, piano terzo: rappresentazione delle modalità di trasmissione delle sollecitazioni dalle volte ai piedritti. Le linee rosse simboleggiano i sistemi di scarico delle volte a botte.

Il rilievo geometrico della **Rocca di Reggiolo**, purtroppo non fornisce alcuna informazione relativamente alla presenza di sistemi voltati. Tuttavia il progetto delle opere di restauro relative all'anno 2004, comprende interventi concernenti tale tipologia di orizzontamenti nel *mastio*, il che lascia presupporre l'esistenza di strutture voltate all'interno di questo elemento architettonico, il più antico di tutto il complesso fortificato, ma non vengono descritte né l'estensione, né la tipologia, né i materiali utilizzati e tanto meno il grado di finitura.

Gli elaborati relativi la campagna del Giugno 2004 non forniscono invece alcun indizio in merito alle eventuali strutture voltate presenti all'interno degli altri corpi di fabbrica.

Considerando che questi ultimi hanno inglobato il *mastio* preesistente, eventuali ragionamenti fondati sulla similitudine costruttiva tra *mastio*, *torri angolari* e altri macroelementi architettonici, non risulterebbero attendibili.

Per la Rocca di Reggiolo quindi non si potranno conseguire considerazioni completamente esaustive, ma soltanto parziali, vista la mancanza di dati numerici, per le motivazioni descritte nei paragrafi precedenti.

I sistemi voltati, secondo le numerose pubblicazioni in merito, siano esse antiche⁵⁷ o recenti⁵⁸, vengono definiti come strutture a “*svantaggio di sicurezza*”, in quanto “[...] *le spinte [...] vanno semplicemente eliminate, [...] negli elementi “naturalmente spingenti” si dovranno adottare provvedimenti adeguati per contrastarle [...]. Il problema delle spinte si manifesta già in condizioni statiche, per la difficoltà*

⁵⁷ “[...] Vitruvio nei Dieci Libri di Architettura dimostra di aver intuito che la volta determina una spinta sui muri e sui pilastri che la sostengono [...]” (cfr. A. Aveta, *Note sugli sviluppi delle teorie della statica di volte e cupole*, in D. Esposito, D. Fiorani, *op. cit.*, p. 133).

⁵⁸ S. Di Pasquale, *L'arte del costruire – tra conoscenza e scienza*, Marsilio Editori, Venezia 1996, pp. 212-215; R. Sparacio, *La scienza e i tempi del costruire*, UTET Libreria, Torino 1999, pp. 157-159; E. Tomasoni, *Le volte in muratura negli edifici storici*, Aracne, Roma 2008, pp. 98-100; G. Menditto, *Fessurazioni nelle strutture*, Dario Flaccovio, Palermo 2010, pp. 238-249, 254, 276.; A. Pecchenino, *Le volte in muratura. Analisi, modellazione e rinforzo con FRP*, Grafill, Palermo 2015, pp. 56-75.

*che hanno le strutture murarie ad assorbire le azioni orizzontali e si accentua quando a queste si aggiungono le componenti sismiche [...]*⁵⁹.

Dagli approfondimenti condotti nel corso della presente ricerca tuttavia non è stato possibile correlare nessun cinematismo di danno con la presenza di strutture voltate. Quindi contrariamente a quanto si sia potuto immaginare, le volte hanno assunto un ruolo positivo durante gli eventi sismici: le strutture spingenti hanno scaricato le loro azioni in corrispondenza di muri con spessori elevati, molto spesso adiacenti ad elementi architettonici possenti, i quali hanno garantito un mutuo contrasto, a vantaggio della stabilità globale del manufatto. Gli elementi murari in elevato oltre ad assorbire le spinte in condizioni statiche delle volte, hanno risposto in maniera positiva anche alle azioni dinamiche sviluppatesi a causa degli eventi sismici.

⁵⁹ G. Cangi, M. Caraboni, A. De Maria, *Analisi strutturale per il recupero antisismico*, Dei, Roma 2010, p. 79.

2.3 Elementi architettonici principali

Per poter approfondire i rapporti che intercorrono tra le tecniche costruttive ed i meccanismi di danno, come prima cosa si è partiti dall'individuazione degli elementi architettonici presenti nelle fortificazioni emiliane prese in esame. È bene specificare che queste ultime non presentano caratteristiche particolari che le differenziano dalla classica accezione di castello.

Gli **elementi architettonici** rilevati sono stati a grandi linee distinti in **principali**, o *macroelementi strutturali*, e in **secondari**⁶⁰. I primi sono l'ossatura portante delle fortificazioni prese in esame, rappresentano semplicemente le parti costitutive di ciascun manufatto, vale a dire quelle porzioni che ne permettono l'esistenza e la riconoscibilità. Questo primo gruppo comprende: il mastio, le torri angolari, le torri perimetrali, le torri portaie, la cinta muraria, il *palatium* e gli edifici accessori.

Secondo quanto appena illustrato, i macroelementi strutturali di ciascun manufatto fortificato emiliano non sono in realtà moltissimi, ma la particolarità di ogni fabbrica difensiva scaturisce dalla posizione reciproca che ogni parte occupa nel complesso e dal numero di ciascuna componente presente.

I casi approfonditi sono costituiti solitamente da torri angolari a pianta quadrata, collegate da cinte murarie che si sviluppano con andamento poligonale quadrangolare; in alcuni casi le torri angolari sono addossate a quelle portaie. Gli elementi a prevalente sviluppo verticale attualmente sono chiusi da coperture lignee diacroniche. In molti esemplari, principalmente nei manufatti che durante la loro esistenza hanno soddisfatto esigenze abitative e non esclusivamente difensive, al posto delle cinte murarie, sono presenti altri corpi di fabbrica, secondo quanto si è potuto verificare durante i sopralluoghi effettuati.

Ad esempio nella **Rocca di Vignola** (MO) i lati posti a Sud e a Ovest sono costituiti da corpi di fabbrica (*palatium*), mentre gli altri consistono in semplici *cortine murarie*. Le torri angolari rilevabili sono: a N-E la Torre Nonantolana⁶¹, allineata alle mura perimetrali, a S-W la Torre del Pennello⁶² (unica a pianta pentagonale), e a S-E quella delle Donne⁶³. Queste ultime sorgono rispettivamente totalmente e parzialmente al di fuori del filo esterno delle mura perimetrali. A causa delle

⁶⁰ Molti castelleologi, per poter semplificare la complessa materia da loro studiata, sono soliti suddividere i manufatti fortificati in elementi architettonici. Anche l'ing. Dino Palloni (n. 1945, m. 2012), autore di numerose pubblicazioni in merito, il quale ha dedicato gran parte della sua vita allo studio delle architetture fortificate medioevali, ha fatto propria tale ripartizione. Palloni viene considerato uno tra i più grandi esperti italiani in materia, egli ha anche ricoperto il ruolo di consigliere scientifico dell'Istituto Italiano dei Castelli, ente nato nel 1964 per conoscere, salvaguardare e valorizzare questa ampia e particolare tipologia di architetture.

⁶¹ G. Romani, M. Vicini, *op. cit.*, p. 61.

⁶² *Ivi*, p. 62.

⁶³ *Ivi*, p. 63.

trasformazioni sopravvenute nel corso dei secoli, in questo manufatto sono presenti anche altri elementi architettonici: sul lato Ovest una *loggia* avente forma allungata protegge l'ingresso, verso Nord invece è presente la *rocchetta*: fortino addossato alla primitiva fortificazione.

L'impianto della **Rocca di Reggiolo** (RE) risulta molto semplice in quanto essa è costituita da un *mastio* centrale, circondato da un *recinto murario* quadrangolare. Le mura perimetrali presentano quattro *torri angolari*, le due verso Sud sono sporgenti rispetto la cerchia muraria, mentre le due verso Nord sono a filo, ruotate ed aperte alla gola: costituiscono un cumulo di particolarità. È presente anche una finta *torre portaia*, in corrispondenza della mezzeria del prospetto Sud, simbolo dell'accesso principale della fortezza.

Le **Rocche di San Felice sul Panaro** (MO) e di **Finale Emilia** (MO) sono costituite da numerosi macroelementi strutturali, disposti planimetricamente in modo particolare, a causa delle differenti epoche di costruzione. Un elemento ricorrente in entrambe è costituito da *torri portaie passanti*, disposte in adiacenza alle *torri angolari*⁶⁴. Nel castello sanfeliciano la torre portaia è addossata al *mastio*, collocato a S-O. Sono presenti anche altre tre *torri angolari* più una quarta torre ubicata al centro della facciata Nord, la quale funge da ingresso principale, come riscontrabile anche in altre costruzioni simili. Le torri menzionate appartengono ad un sistema edilizio più ampio: ad eccezione della facciata Ovest, costituita da una semplice *cortina muraria*, gli altri lati della rocca sono infatti costituiti da *corpi di fabbrica*. Il castello estense di Finale Emilia, presenta due *torri portaie*⁶⁵, addossate ad un'unica *torre angolare*. Esse risultano prominenti verso l'esterno. La disposizione del *mastio* in questo complesso fortificato è molto particolare: non occupa il baricentro della costruzione né si trova in mezzo alla facciata principale, ma si discosta dalla mezzeria, evidenziando lo sviluppo diacronico degli elementi architettonici. Inoltre esso non ospita alcun ingresso al castello. Le *torri angolari* presenti sono addossate a *corpi di fabbrica*, soltanto a N-O è possibile riscontrare due brevi *cortine murarie*.

La **Rocca di Cento** è composta da quattro *torri angolari*, tre delle quali sono affiancate da *torri portaie*, prominenti verso l'esterno. Nel manufatto centese sono inoltre presenti anche altri *corpi di fabbrica*, i quali collegano le torri e disegnano un'ampia corte interna quadrangolare.

⁶⁴ Palloni D., *Prime considerazioni sui danni ai castelli modenesi dopo il sisma del 2012*, in "Castellum", 2013, n.1, pp. 7-9. Questa particolarità è stata definita come fossile guida per attribuire la paternità delle rocche in oggetto all'architetto Bartolino Ploti da Novara.

⁶⁵ Nonostante il fossile guida, di cui alla nota 2, riscontrato anche nel Castello delle Rocche di Finale Emilia, secondo fonti bibliografiche più recenti, questa fortificazione non sarebbe opera dell'architetto Bartolino Ploti da Novara.

2.3.1 Il mastio, le torri angolari e le torri perimetrali

Il mastio, o torre maestra, simbolo del potere posseduto dalla famiglia insediata nella fortificazione, costituisce la torre principale del castello⁶⁶. Proprio per questo motivo, particolare attenzione veniva riservata alle sue dimensioni: sempre maggiori rispetto quelle delle altre torri castellane, sia in pianta che in alzato. Esso controllava e dominava il resto della struttura fortificata e permetteva agli ultimi difensori di rifugiarsi. Di solito ospitava al piano più alto l'alloggio del castellano ed era provvisto di riserve di acqua, di viveri e di munizioni. In termini difensivi può essere definita come una sopravvivenza dell'antico *castello torre* all'interno di un fortilizio architettonicamente più complesso. Molto spesso infatti rappresenta la parte più antica delle fortificazioni in oggetto, in quanto era una torre appartenente ad una struttura antecedente, inglobata nella nuova struttura fortificata. Per questo motivo non è possibile stabilire una posizione ricorrente rispetto agli altri elementi architettonici. Godeva di una certa autonomia sia da un punto di vista difensivo che residenziale: anche quando durante l'assedio la rimanente parte del castello fosse stata in perdita, i soldati avrebbero potuto continuare a difendere il loro onore, grazie al mastio.

Nella **Rocca di Reggiolo** esso presenta pianta quadrangolare, di circa 11,5 m di lato ed altezza pari a 36 m (fig. 62). Alla base è presente un *barbacane*, sporgente di circa 1 m dalla linea delle pareti.

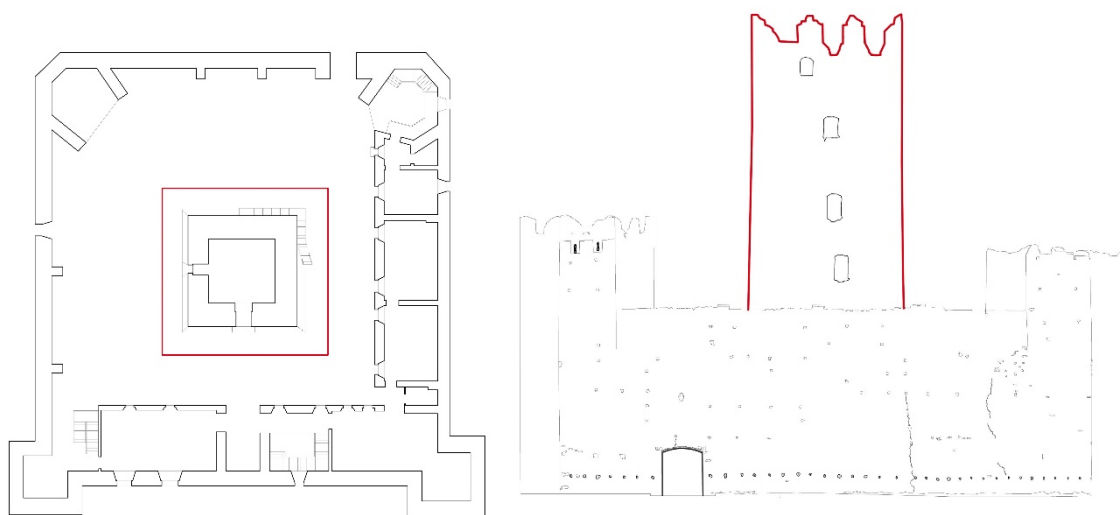


Figura 62 – Pianta e prospetto Nord della Rocca di Reggiolo. In evidenza posizione reciproca e altezza relativa del mastio rispetto agli altri elementi strutturali del complesso fortificato.

⁶⁶ Secondo Viollet Le Duc, padre della castleologia, il mastio “[...] comanda le difese del castello [...] ed è indipendente dalla cinta della fortezza medievale [...]” (cfr. E. Viollet Le Duc, *Dictionnaire Raisoné de l'Architecture Française du XI au XVI siècle*, V, De Nobèle, Paris 1967, p. 34).

Le dimensioni del mastio della rocca sanfelicianiana sono molto simili a quelle appena viste per la fortificazione di Reggiolo: pianta quadrata con lato pari a 10 m ed altezza attorno ai 30 m (fig. 63).

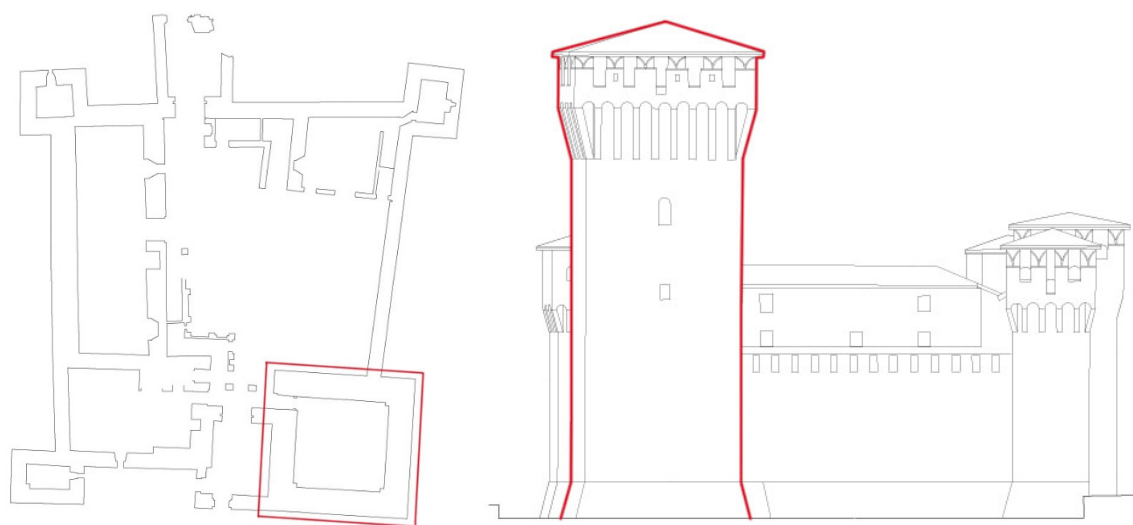


Figura 63 - Pianta e prospetto Est della Rocca di San Felice sul Panaro. In evidenza posizione reciproca e altezza relativa del mastio rispetto gli altri elementi strutturali del complesso fortificato.

Il mastio della **Rocca di Cento** invece pur essendo alto circa 38 m, compresa la lanterna sovrastante la torre originaria, presenta una pianta quadrata con lato pari a 6 m (fig. 64).

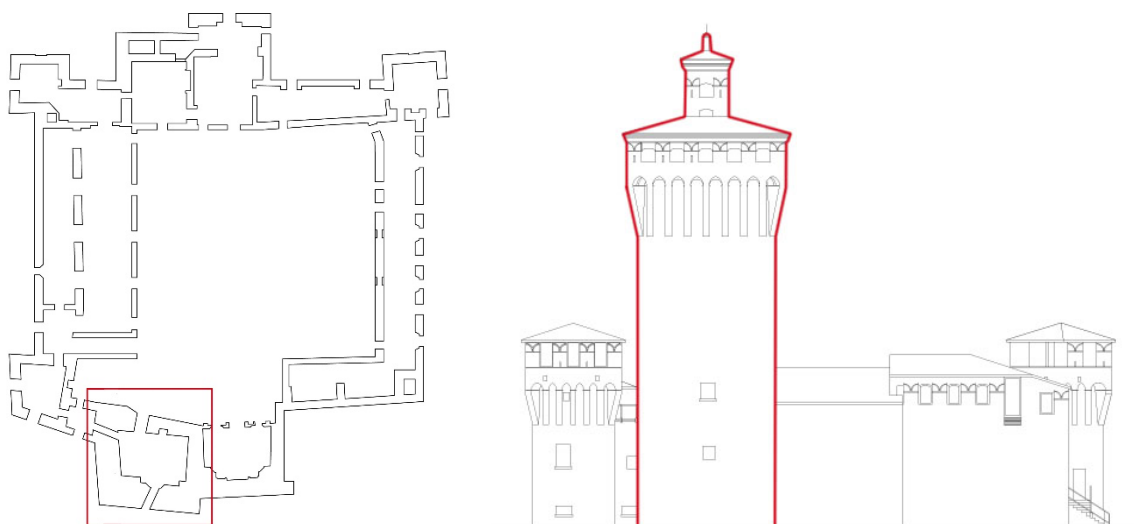


Figura 64 - Pianta e prospetto Sud della Rocca di Cento. In evidenza posizione reciproca e altezza relativa del mastio rispetto gli altri elementi strutturali del complesso fortificato.

“[...] Dans l'ancienne fortification, la tour est un ouvrage saillant sur les courtines, à plan carré ou circulaire, et formant un flanquement suffisant avant l'emploi des bouches à feu [...]”⁶⁷.

Nei casi di studio approfonditi tutte le torri presenti hanno *pianta quadrangolare*, anzi nella maggior parte dei casi *quadrata*.

Anche se più basse del mastio, presentano *altezza* maggiore agli altri corpi di fabbrica. Va evidenziato che le torri costruite dopo la fase di transizione, tendono ad abbassarsi, fino ad assumere un'altezza pari a quella della cinta muraria adiacente.

Tutti i casi analizzati possiedono torri che si distinguono all'interno del complesso fortificato per la loro altezza rilevante.

Ad esempio a Cento (fig. 65) le torri angolari e perimetrali hanno un'altezza dell'ordine di 14 m, a fronte del *palatium*, avente altezza di circa 11 m.

Stesso ragionamento per la **Rocca di San Felice sul Panaro**, in quanto a fronte delle *cortine murarie* che si sviluppano in altezza per circa 10 m, e del *palatium* alto 15 m, le *torri* misurano mediamente 18 m (fig. 66).

Analogamente a Finale Emilia le *torri* sono di poco inferiori ai 20 m ed il *palatium* è alto 15 m (fig. 67).



Figura 65 - Prospetto Sud della Rocca di Cento. In evidenza altezza relativa delle torri e degli altri elementi strutturali del complesso fortificato.

⁶⁷ Il testo originale dell'opera di E. Viollet Le Duc, *Dictionnaire raisonné de l'architecture française du XIe au XVIe siècle*, è consultabile gratuitamente dal sito: http://fr.wikisource.org/wiki/Dictionnaire_raisonn%C3%A9_de_l%27architecture_fran%C3%A7aise_du_XIe_au_XVIe_si%C3%A8cle_-_Index_alphab%C3%A9tique_-_B, ultima consultazione 06 Marzo 2017. “[...] Nelle fortificazioni antiche, la torre è un elemento che svetta sulle cortine murarie, a pianta quadrata o circolare, e costituisce un sistema di difesa sufficiente prima dell'impiego delle armi da fuoco [...]”.

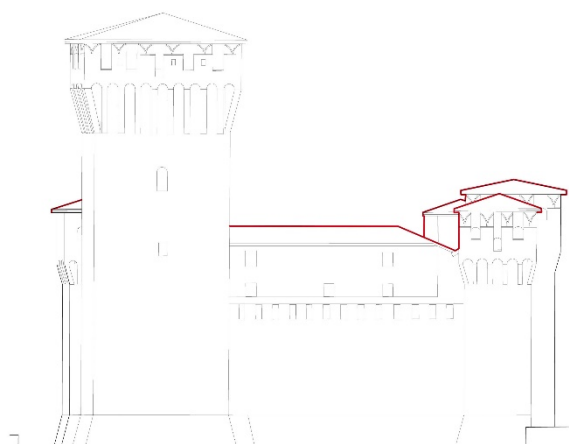


Figura 66 - Prospetto Est della Rocca di San Felice sul Panaro. In evidenza altezza relativa delle torri e degli altri elementi strutturali del complesso fortificato.

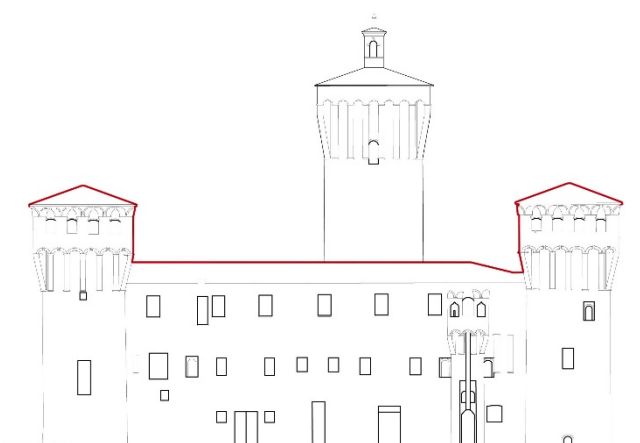


Figura 67 - Prospetto Sud del Castello delle Rocche di Finale Emilia. In evidenza altezza relativa delle torri e degli altri elementi strutturali del complesso fortificato.

Le torri possono essere *a filo* delle cortine murarie adiacenti o *sporgenti* rispetto ad esse. In tutti i casi analizzati, i torrioni sono stati realizzati in maniera aggettante rispetto agli altri corpi di fabbrica. Unica eccezione riguarda le torri Nord-Est e Nord-Ovest della Rocca di Reggiolo (fig. 68).

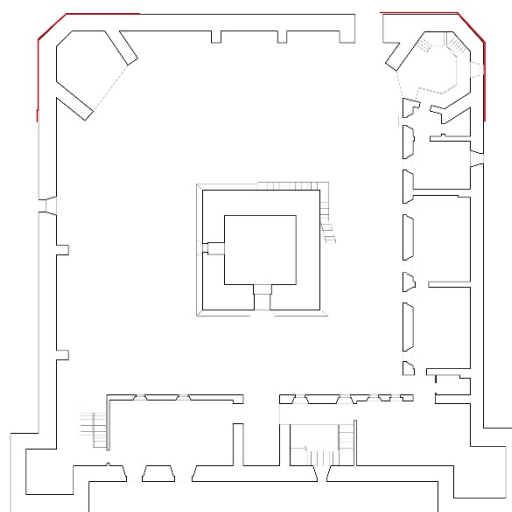


Figura 68 - Pianta Rocca di Reggiolo. In evidenza continuità del filo murario tra torri NE e NO e cerchia muraria ad esse adiacente.

Le torri angolari e quelle perimetrali, si differenziano sostanzialmente per la posizione occupata rispetto agli altri elementi del complesso fortificato: le prime costituiscono il raccordo tra due corpi o *cinte murarie* fra loro perpendicolari, mentre le seconde sono addossate alle facciate. In quest'ultimo caso, la buona prassi costruttiva militare vorrebbe le torri posizionate per soddisfare appieno determinati canoni difensivi, quindi solitamente in maniera tale da suddividere in parti uguali i paramenti murari o baricentriche rispetto le facciate.

Nelle fortificazioni esaminate, come già accennato per i masti, anche per le torri è molto frequente che costituiscano la parte più antica dell'intero organismo castellano. Spesso la politica del riutilizzo portava ad adattare il nuovo progetto in base agli elementi già esistenti, è per questo motivo che nei casi di studio non è possibile riscontrare i caratteri costruttivi descritti poco sopra. L'annessione di torri già *in loco* rappresenta una costante per tutti i sistemi fortificati appartenenti al ciclo estense.

La storiografia delle fortificazioni emiliane prese in esame conferma quanto appena esposto. Infatti la *cinta muraria* ed il *mastio* della **Rocca di San Felice sul Panaro**, appartenenti alla prima metà del XIV secolo, vennero inglobati nell'impianto edilizio di fine XIV – inizio XV secolo (fig. 69). Il *mastio* sorge a Sud – Est, addossato ad una *torre portaia* passante, le tre *torri angolari* sono collocate in posizione usuale e l'unica *torre perimetrale* presente, contenente l'accesso principale al baluardo difensivo, non sorge sulla mezzeria della facciata Nord, ma è spostata verso Ovest (fig. 70).

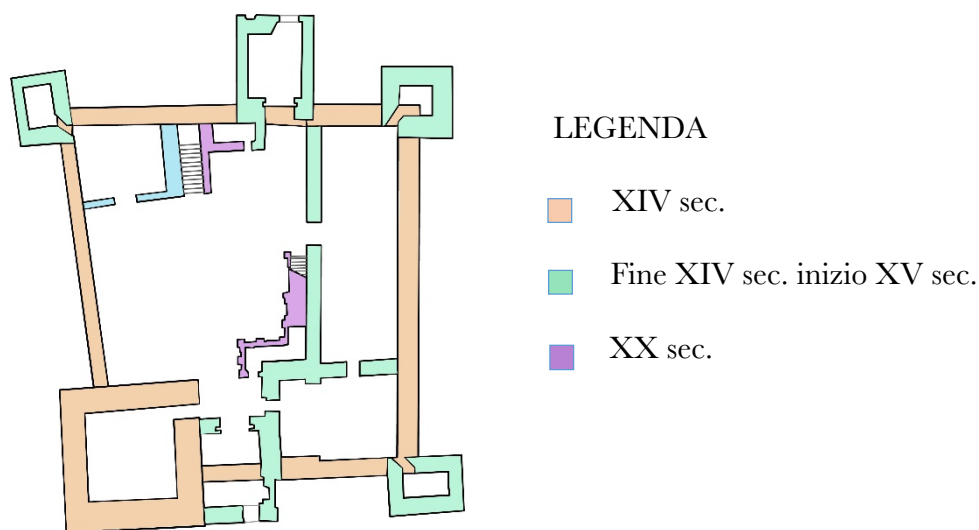


Figura 69 – Pianta di fase della Rocca di San Felice sul Panaro.

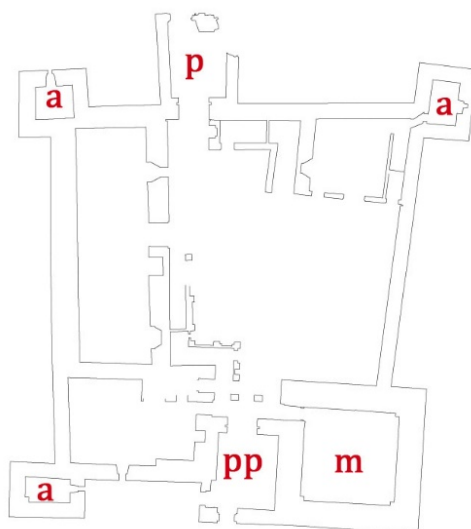


Figura 70 – Rocca di San Felice sul Panaro. LEGENDA delle tipologie di torri codificate: a – torre angolare, m – mastio, p – torre perimetrale, pp - torre portaia passante.

Il **Castello delle Rocche di Finale Emilia** presenta un *mastio* degli inizi del XIII secolo, in posizione centrale rispetto il sistema difensivo originario, ma in posizione anomala se confrontato con la rocca quattrocentesca: esso è stato inglobato nella facciata Nord.

L'impianto della **Rocca di Reggiolo** (fig. 71), seppure molto differente rispetto ai due appena presi in esame, evidenzia ancora una volta la politica del riutilizzo degli elementi architettonici preesistenti. Il *mastio*, baricentrico rispetto all'intera fortificazione attuale, risale alla prima metà del XIII secolo, mentre la *cinta muraria* quadrangolare e le quattro *torri angolari* sono state costruite soltanto nel XIV secolo. Le due torri verso Sud sono torri angolari secondo il classico significato del termine: sporgenti rispetto la cerchia muraria, mentre le due verso Nord non sono sporgenti, quindi sono a filo e collegano i lati Ovest e Nord ed i lati Nord ed Est, mediante paramenti murari ruotati a 45°, la loro funzione difensiva viene attuata dall'altezza maggiore rispetto alla cinta muraria e nel raddoppio delle possibilità di tiro difensivo. È presente anche una finta *torre portaia*, in corrispondenza della mezzeria del prospetto Sud, simbolo dell'accesso principale della fortezza.

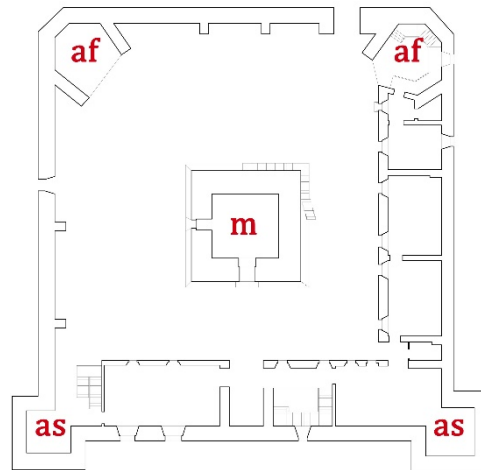


Figura 71 - Rocca di Reggiolo. LEGENDA delle tipologie di torri codificate: af – torre angolare a filo della cerchia muraria, as – torre angolare sporgente rispetto la cerchia muraria, m – mastio.

Va notato che quelle perimetrali erano solitamente aperte alla gola, cioè prive di paramento murario verso l'interno, per non costruire un caposaldo offensivo contro il castello, in caso di attacco.

In ogni caso le torri, aggiunte al girone, consentivano un irrobustimento delle mura, inoltre permettevano di arginare gli assalitori che si fossero impadroniti di un tratto della cinta, dal resto del cammino, sbarrando due torri adiacenti.

Ad esempio, nella **Rocca di San Felice sul Panaro**, le torri angolari presentano spessore di 1 m a livello dell'attuale piano di campagna. Esso si mantiene pressoché costante fino ad un'altezza di circa 10 m, in corrispondenza della quale si assottigliano fino a misurare 0,7 m. Prendendo in considerazione il *mastio sanfeliciano*, si intuisce facilmente che così come le dimensioni planimetriche e l'altezza risultano maggiori rispetto quelle relative alle altre torri, anche le murature possiedono spessori più importanti. Si parte infatti dal piano di calpestio attuale con uno spessore di 1,7 m, ma ad un'altezza di circa 10 m, è presente un assottigliamento: lo spessore è infatti di 1,2 m. A livello del piano di imposta dei beccatelli, lo spessore murario diminuisce ancora, misurando 0,9 m.

Le *torri angolari* della **Rocca di Cento** presentano invece al piano attualmente interrato uno spessore murario di 0,95 m, che diventa 0,9 m in corrispondenza della parte sommitale. La *torre perimetrale* ubicata in corrispondenza della facciata Nord – Est presenta spessori murari differenti riguardo il lato frontale e quelli laterali. Il primo presenta infatti in corrispondenza del piano attualmente interrato uno spessore di 1,8 m, il quale a livello dell'attuale piano terra diventa 1,25 m ed a livello del piano primo, si assottiglia ulteriormente, diventando 1 m. Lo spessore delle facciate laterali della torre perimetrale è pari a 1,2 m al piano interrato ed al piano terra, mentre in corrispondenza del piano primo diventa 0,9 m. Per quanto concerne il *mastio* di Cento, in corrispondenza del piano terra esso ha murature spesse almeno 2,3 m.

Nel **Castello delle Rocche di Finale Emilia**, gli spessori murari rilevati durante i sopralluoghi effettuati, sembrano confermare quanto esposto poco sopra relativamente agli altri due manufatti fortificati. Infatti in corrispondenza del piano terra attuale essi misurano all'incirca 1,5 m. Salendo di quota essi progressivamente si assottigliano e a livello dell'ultimo piano misurano 0,9 m. Inoltre va evidenziato che le aperture sono munite di sguinci, quindi i paramenti murari costituenti i bancali delle finestre sono spessi solo 0,5 m, poco più delle merlature, spesse 0,4 m.

È importante notare che i paramenti murari del *mastio* probabilmente in passato avevano spessori maggiori rispetto quelli attualmente constatabili. Infatti nella facciata Sud è possibile notare una colonna di laterizi verticalmente sfalsati, posti per coltello, dal confine scarpa – cortina muraria all'estremità superiore del beccatello, aggettanti rispetto il piano della facciata stessa e la sporgenza della scarpa sottostante, i quali indicano presumibilmente la posizione originaria del lato Ovest della torre maestra (fig. 72).



Figura 72 – Rocca di Finale Emilia, traccia antica facciata Ovest del mastio.

Altra caratteristica delle rocche di transizione è rilevata in alcune delle fortificazioni analizzate è rappresentata dai terrapieni⁶⁸, utilizzati ai piani più bassi, per avere maggiori garanzie contro i colpi inferti dalle armi da fuoco⁶⁹. Questo espediente difensivo era costituito da alcuni setti murari,

⁶⁸ “[...] Terrapieno o terraglio o terraggio: elevazione di terra battuta o incamiciata sulla quale venivano messe in postazioni armi pesanti (artiglierie) [...]”. (Cfr. D. Taddei (a cura di), *op. cit.*, p. 94).

⁶⁹ Secondo quanto riportato nel testo originale dell'opera di E. Viollet Le Duc, *Dictionnaire raisonné de l'architecture française du XI^e au XVI^e siècle*, consultabile gratuitamente dal sito : http://fr.wikisource.org/wiki/Dictionnaire_raisonn%C3%A9_de_l%27architecture_fran%C3%A7aise_du_XIe_a_u_XVIe_si%C3%A8cle_-_Index_alphab%C3%A9tique_-_B, ultima consultazione 15 Marzo 2017, “[...] pour prévenir ces dangers les constructeurs militaires établirent, dans les tours, des étages depuis le sol des fossés ou le niveau de l'eau, ou l'arase de

perpendicolari ai lati esterni delle fortificazioni⁷⁰. Gli spazi racchiusi dalle strutture murarie descritte, se riempiti da sabbia, terra o qualsiasi altro materiale inerte ben costipato, formavano dei muri controterra aventi spessori elevatissimi e, grazie al terreno imbrigliato da setti murari, caratterizzati da alti valori di resistenza meccanica (fig. 73).

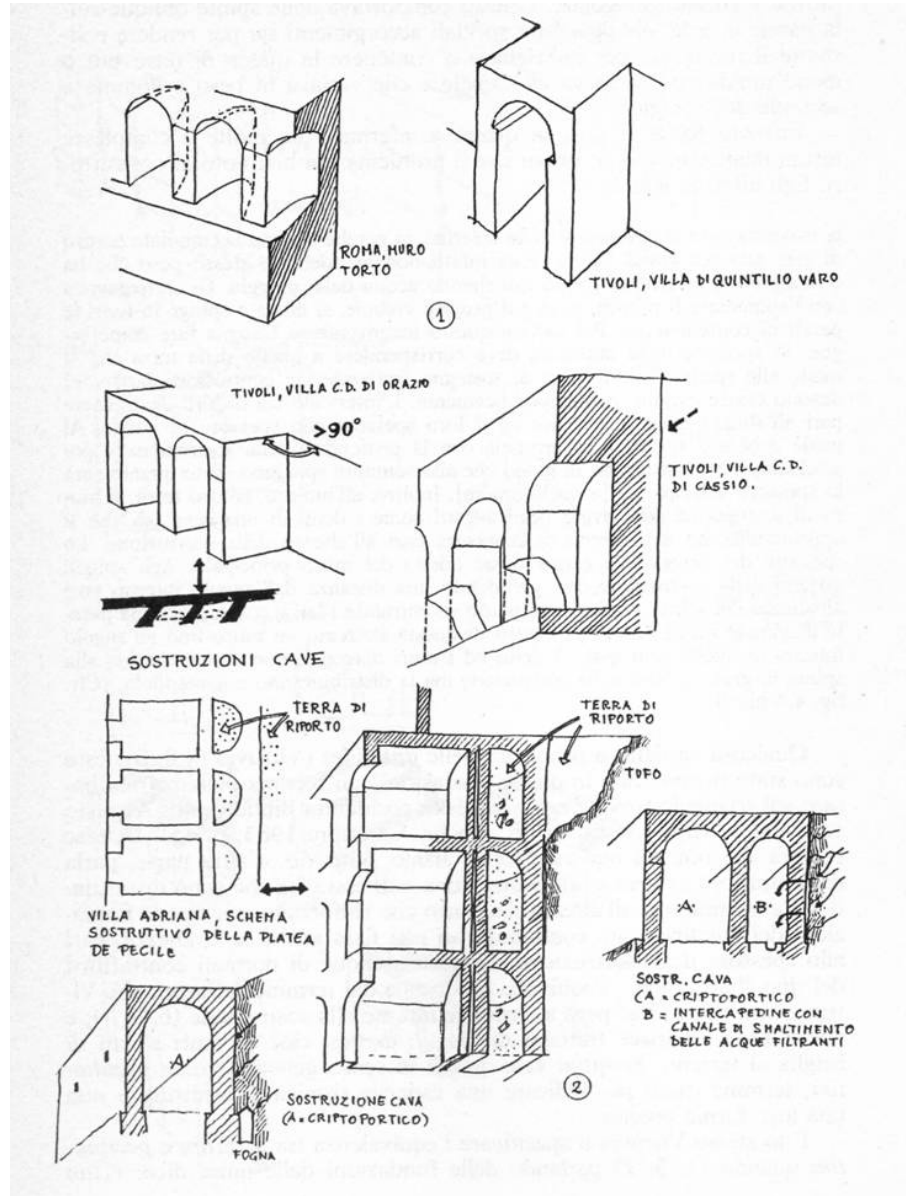


Figura 73 – Tipologie di sostruzioni negli edifici antichi.

l'escarpement de rocher ; ces étages furent percés de meurtrières, se chevauchant [...] de manière à envoyer des carreaux sur tous les points de la circonférence des tours autant que faire se pouvait ; ils en établirent également dans les courtines, surtout lorsqu'elles servaient de murs à des logis divisés en étages, ce qui dans les châteaux avait presque toujours lieu. Les pionniers arrivaient ainsi plus difficilement au pied des murs, car il leur fallait se garantir non-seulement contre les projectiles jetés de haut en bas, mais aussi contre les traits décochés obliquement et horizontalement par les meurtrières [...]. “[...] Per evitare questi pericoli, i costruttori militari misero in opera, presso le torri e anche in corrispondenza delle cortine murarie, degli apprestamenti difensivi in grado di ostacolare l'arrivo dei nemici ai piedi delle mura e di proteggere il complesso fortificato dai colpi delle armi da fuoco [...]”.

⁷⁰ I muri controterra riscontrabili nelle fortificazioni studiate, sono assimilabili alle *sostruzioni*, elementi costruttivi già individuati da Vitruvio in molteplici edifici, e da esso sviscerati nelle varie tipologie utilizzate nell'edilizia antica (cfr. F. Cairolì Giuliani, *L'edilizia nell'antichità*, Carocci, Roma 2006, pp. 112-118).

Nel caso di **Finale Emilia** questa caratteristica era riscontrabile al piano terra ed al piano primo del complesso fortificato, quindi negli attuali piano terra ed interrato⁷¹. Durante le modifiche apportate nel corso della storia, i terrapieni sono stati svuotati, cioè sono stati preservati i setti murari, liberandoli dagli inerti. Ad oggi, dai sopralluoghi effettuati e dall'analisi dei rilievi disponibili, non sono riscontrabili tali strutture all'interno del manufatto fortificato. Tuttavia, in corrispondenza del *palatium*, lato Sud, i fossati che originariamente circondavano questa rocca, colmati a partire dal XVI secolo e fino al XIX secolo, lasciano scoperti dei setti murari assimilabili a sostruzioni, costituite in questo caso da muri in laterizio a tre teste, aventi altezza pari alle scarpe (fig. 74). I muri a pettine collegano ortogonalmente i muri in alzata scarpata dei *palatium* a muri perimetrali che uniscono i vertici delle torri angolari adiacenti. Questi ultimi hanno altezza pari alle scarpe.



Figura 74 – Rocca di Finale Emilia, setti murari assimilabili a sostruzioni.

Dei medesimi setti murari, secondo quanto rilevabile dagli elaborati grafici consultabili, rimane traccia anche in corrispondenza del lato Est relativo all'interrato della torre Sud Est della **Rocca di San Felice sul Panaro**. Questo lato infatti risulta rafforzato mediante l'utilizzo di muri ad esso ortogonali, posizionati verso l'interno della costruzione (fig. 75). I setti murari, dello spessore di due teste, sorgono ad intervalli regolari di circa 1,5 m, hanno profondità dell'ordine di 2,0 m e costituiscono una sorta di struttura a pettine.

⁷¹ M. Righini, *Le rocche e le fortificazioni nel Finale dal XIV al XVI secolo: aspetti militari*, in M. Calzolari, M. Righini, G. L. Tusini, *Le rocche di Finale in età estense*, Baraldini, Finale Emilia (MO) 2009, pp. 69-73.

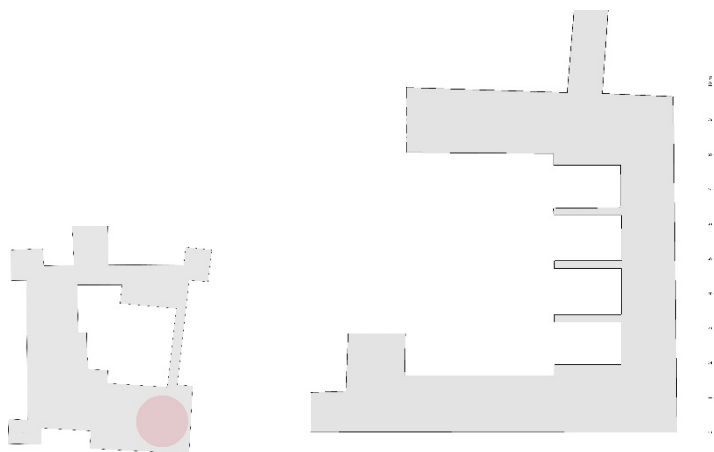


Figura 75 – Pianta di riferimento e planimetria terrapieni della Rocca di San Felice sul Panaro.

Sono coperti superiormente da un sistema di volte a botte, le quali hanno il piano di imposta ad altezza di circa 5,0 m, partendo dal piano di calpestio, e freccia di 0,7 m. La struttura di copertura del pettine è costituita da un parallelepipedo avente base pari a tutta la zona interessata dai muri di rafforzamento ed altezza di 1,0 m, nel quale sono state scavate quattro volte a botte, affiancate (fig. 76), con le caratteristiche geometriche richiamate poco sopra.

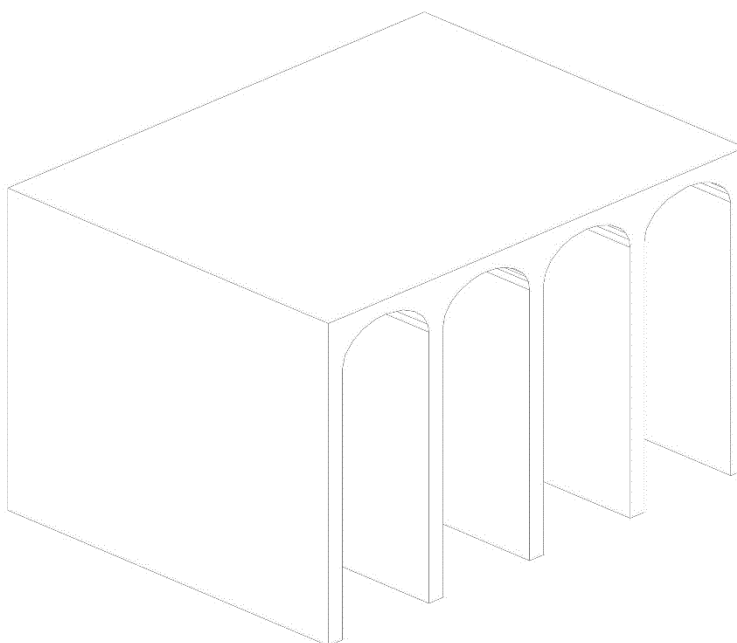


Figura 76 – Vista assonometrica terrapieni della Rocca di San Felice sul Panaro.

Il numero di piani che ciascuna *torre* comprende varia nei casi approfonditi da un minimo di tre, più il sottotetto, come ad esempio nelle torri perimetrali della Rocca di San Felice sul Panaro, ad un massimo di otto, più il sottotetto, del *mastio* della Rocca di Vignola. In tutti i casi, il primo piano, oggi totalmente interrato, in origine sorgeva alla quota del piano di campagna, secondo le caratteristiche morfologiche del luogo e non presentava solitamente alcun accesso dall'esterno,

ospitato invece generalmente al secondo piano. Il terzo era sormontato dall'apparato di coronamento aggettante, il quale ospitava il sottotetto. Quest'ultimo poteva assolvere sia funzione abitativa sia di avvistamento.

I piani alti sono corredati di *aperture*, una per ciascun lato, aventi funzione di areazione, illuminazione ed avvistamento. Tali pertugi, piccoli e di taglio rettangolare, nei piani superiori all'incirca quadrato, con spallatura trilitica all'esterno, si allargavano nello spessore della muratura e venivano realizzati tra loro allineati verticalmente, lungo la mezzeria delle torri.

Le *aperture* differenziano profondamente le *torri portaie* da quelle angolari o perimetrali. Infatti le prime, essendo passanti ed ospitando l'ingresso al baluardo difensivo, presentano molti più vuoti rispetto alle altre. Quindi questa caratteristica influenza profondamente la resistenza meccanica delle murature in oggetto.

2.3.2 I fossati

La difesa affidata ai muri a scarpa era spesso completata da un *sistema di fossati*⁷² perimetrali. In tempi meno remoti molte strutture fortificate hanno subito l'interramento di questi ultimi elementi tipologici. La maggior parte delle informazioni relativa alle dimensioni originarie dei fossati quindi deriva da campagne archeologiche e da documenti archivistici contabili⁷³.

Ad esempio recenti scavi archeologici condotti nella **Rocca di San Felice sul Panaro** testimoniano che i livelli di calpestio originari dovevano trovarsi molto al di sotto rispetto al piano di campagna attuale, proprio a causa degli interramenti⁷⁴. Oggi sono visibili esclusivamente i fossati che affiancano il lato Sud ed il lato Est della Rocca. L'attuale larghezza varia dai 6 m misurabili in corrispondenza della facciata Est della torre angolare Sud – Est, ai 10 m riscontrabili in aderenza alla cortina muraria del lato Est; l'attuale profondità invece varia dai 2,5 m dei fossati in corrispondenza della cortina Est ai 3,5 m di quelli in corrispondenza del torrione succitato. Il fondo del fossato non era rivestito da una pavimentazione, ma costituito da terra battuta.

Fino al XVI secolo le fosse erano colme d'acqua, potente sistema difensivo, in quanto rendeva invalicabile tutto l'ampio fossato, ma contemporaneamente anche problema igienico-sanitario, vista la presenza di ristagni putridi con conseguente moria di pesci e forti esalazioni mefitiche. Al problema si cercò di rimediare mantenendo asciutto l'ampio invaso e coltivandolo a prato, ma dal XVII secolo incominciò ad essere trasformato in orti, con tanto di alberi ed edifici.

Nel XVII secolo si colloca la fase iniziale di chiusura dei fossati della rocca, con terra di riporto ricca di macerie. La fase di interrimento si concluse solo nel 1867⁷⁵.

Nel XXI secolo le fosse sono state parzialmente riaperte, fino ad assumere l'aspetto attuale.

72 “[...] *Tranchée longue, faite dans le sol pour opposer un obstacle autour d'un camp, d'un château, d'une ville, d'un parc, d'un enclos. Il y a des fossés secs et des fossés pleins d'eau, des fossés en talus ou à fond de cuve, des fossés revêtus ou non revêtus [...]*” Cfr. E. Viollet Le Duc, *op. cit.*, consultata al sito: http://fr.wikisource.org/wiki/Dictionnaire_raisonn%C3%A9_de_l'architecture_fran%C3%A7aise_du_XIe_au_XVIe_si%C3%A8cle_-_Index_alphab%C3%A9tique_-_B, ultima consultazione 09 Marzo 2017. “[...] *Trincea lunga, realizzata nel suolo al fine di costruire un ostacolo attorno a un campo, a un castello, a una città, a un parco, a un recinto. Ci sono fossati asciutti e fossati pieni di acqua, fossati nei terrapieni o nel fondo delle cisterne, fossati rivestiti o non rivestiti [...]*”.

73 La bibliografia consultata riporta che le fosse, per essere mantenute in buono stato di conservazione, richiedevano notevoli opere manutentive, principalmente pulizia e scavo, da parte della popolazione, durante tutti i mesi dell'anno. Ad esempio, a San Felice sul Panaro il Duca obbligava tutti gli uomini ad escavarle per mantenerle pulite (cfr. P. Costa Giani, *Memorie storiche di San Felice sul Panaro*, Banca popolare di San Felice sul Panaro, Sala Bolognese 1978, p. 145). Inoltre le autorità legiferavano anche in merito alla rimozione del ghiaccio durante il periodo invernale: la formazione di quest'ultimo poteva creare problemi sia di ordine strutturale, sia consentire al nemico di avvicinarsi, vanificandone la funzione difensiva (cfr. M. Righini, *Le armi e l'impianto difensivo della Rocca di San Felice nel XV secolo*, in P. Bonacini, M. Calzolari (a cura di), *Le leggi della comunità*, Gruppo Studi Bassa Modenese, San Felice sul Panaro 2008, p. 143).

L'importanza attribuita a questo elemento difensivo è legata al fatto che essi non rispondevano solo a scopi militari, ma anche economico-produttivi: erano luogo di allevamento ittico artificiale e di pescagione. Infatti, sempre a San Felice, quando vennero chiuse le fosse, la popolazione si animò al fine di conservarne il diritto di passaggio, di pascolo e di gioco negli argini.

74 A. Nicoli, *op. cit.*, p. 60.

75 N. Giordani, P. Campagnoli, *op. cit.*, pp 66-70.

Per quanto riguarda la **Rocca di Finale Emilia** gli studi archivistici ed archeologici condotti dimostrano che i fossati avevano una profondità di circa 7 – 8 m sotto l'attuale piano di campagna e la loro estensione interessava gran parte dell'attuale centro storico. Attualmente risulta visibile soltanto la porzione in corrispondenza della facciata Sud, compresa tra le torri angolari Sud – Ovest e Sud – Est, avente larghezza pari alla sporgenza delle torri in oggetto, rispetto alla cortina muraria. La disposizione degli ingressi, per accedere ai quali sono state recentemente messe in opera passerelle, dimostra ancora una volta che i fossati anche planimetricamente godevano in antichità di estensioni molto maggiori rispetto quelle oggi constatabili.

Nella **Rocca di Cento**, non rimane alcuna chiara traccia delle fosse, tuttavia in corrispondenza della facciata Sud – Ovest, è testimoniata la loro presenza dalla conformazione irregolare del terreno circostante.

2.4 Elementi architettonici secondari

Gli elementi architettonici secondari comprendono tutti i complementi difensivi, costruiti principalmente come risposta al rapido evolversi delle tecniche balistiche, ma anche con scopo puramente decorativo; vale a dire: merli, beccatelli, bombardiere, cannoniere, feritoie, caditoie, bertesche, ventiere, ingressi pedonali e rivellini⁷⁶. Essi completano i macroelementi strutturali, migliorandone le caratteristiche difensive.

Tutti i casi presi in esame possiedono un *apparato a sporgere*, sia lungo le cortine murarie che nelle parti sommitali delle torri, costituito da un impalcato orizzontale aggettante, sostenuto da *beccatelli*, e da un parapetto in muratura, con profilo superiore scandito da *merli*. Questo elemento consentiva ai difensori di colpire dall'alto delle mura, senza sporgersi dal parapetto e quindi esporsi alle armi nemiche. Va notato che la sommità delle cortine, realizzata mediante tratti alterni di pieno, i *merli*, e di vuoto, gli *intermerli*, permetteva ai difensori di ripararsi per scegliere al coperto il bersaglio, essi quindi si potevano affacciare nei tratti aperti per effettuare il tiro.

Gli *intermerli* erano spesso protetti da sportelli in legno incernierati superiormente, chiamati *ventiere*⁷⁷ o *mantelletti*, spinti verso l'esterno all'atto del tiro.

Oggi i camminamenti di ronda ed i torrioni risultano coperti, quindi durante la storia di ogni manufatto questi elementi architettonici hanno subito modifiche sia statiche che funzionali.

Altro presidio difensivo riscontrabile nelle fortificazioni emiliane è costituito dalle *caditoie*: botole lungo il cammino di ronda che si aprivano per poter gettare sul nemico ogni tipo di proiettile.

La **Rocca di Reggiolo**, per quanto riguarda gli elementi architettonici complementari, è molto differente dagli altri manufatti fortificati presi in considerazione, infatti in questo esemplare non è riscontrabile alcun apparato a sporgere e di conseguenza neanche gli elementi ad esso afferenti.

⁷⁶ Nella presente ricerca sono stati trattati esclusivamente i merli e i beccatelli, a causa della tipologia di informazioni disponibili.

⁷⁷ Generalmente erano costituite da elementi lignei rotanti, messi in opera per la protezione del soldato retrostante, ancorati agli stessi *merli* ed apribili a compasso al momento del tiro.

Dai sopralluoghi condotti non è stato possibile constatare l'originaria presenza delle *ventiere*: non è stato rilevato alcun foro nei laterizi degli *intermerli*, atto ad ospitare le cerniere metalliche per permettere l'apertura a compasso di cui sopra. Nel corso della storia spesso questi spazi sono stati tamponati mediante cortine murarie, in alcuni casi sono stati riempiti totalmente, mentre in altri casi sono stati preservati dei vuoti, creando delle bucatore. Ad esempio in corrispondenza della merlatura della torre Sud - Est della Rocca di San Felice sul Panaro e delle torri Sud - est e Sud - Ovest della Rocca di Finale Emilia, durante le trasformazioni storiche avvenute, sono state realizzate aperture ad arco a tutto sesto, invece nella torre Sud - Est della Rocca di Vignola gli *intermerli* sono stati tamponati completamente.

2.4.1 I merli

“[...] Aujourd’hui on ne désigne par le mot créneau que les vides pratiqués dans un parapet pour permettre aux défenseurs des murailles de voir les assaillants et de leur lancer des projectiles. Mais au moyen âge, on entendait par créneau toute ouverture pratiquée au sommet d’une tour ou d’une courtine, couverte ou découverte, et qui servait à la défense. Nous reprenons la dénomination employée pendant le moyen âge, et nous parlerons des créneaux couverts ou découverts, libres ou fermés par des volets. Disons d’abord que les intervalles pleins laissés entre les créneaux sont les merlons, car il n’y a pas de créneaux sans merlons, comme il n’y a pas de fenêtres sans trumeaux [...]”⁷⁸.

Le merlature rilevate nelle strutture fortificate oggetto di approfondimento appartengono a due distinte tipologie: i *merli guelfi*, che presentano sommità orizzontale, e quelli *ghibellini*, aventi invece sommità aperta e svasata. Appartengono alla prima classe i merli presenti lungo tutta la cinta muraria, sulla sommità delle torri angolari e del mastio della **Rocca di Reggiolo**, mentre nei manufatti di **San Felice sul Panaro**, **Finale Emilia**, **Cento** e **Vignola**, gli elementi architettonici ora presi in considerazione, sono ghibellini (figg. 77-78-79-80).

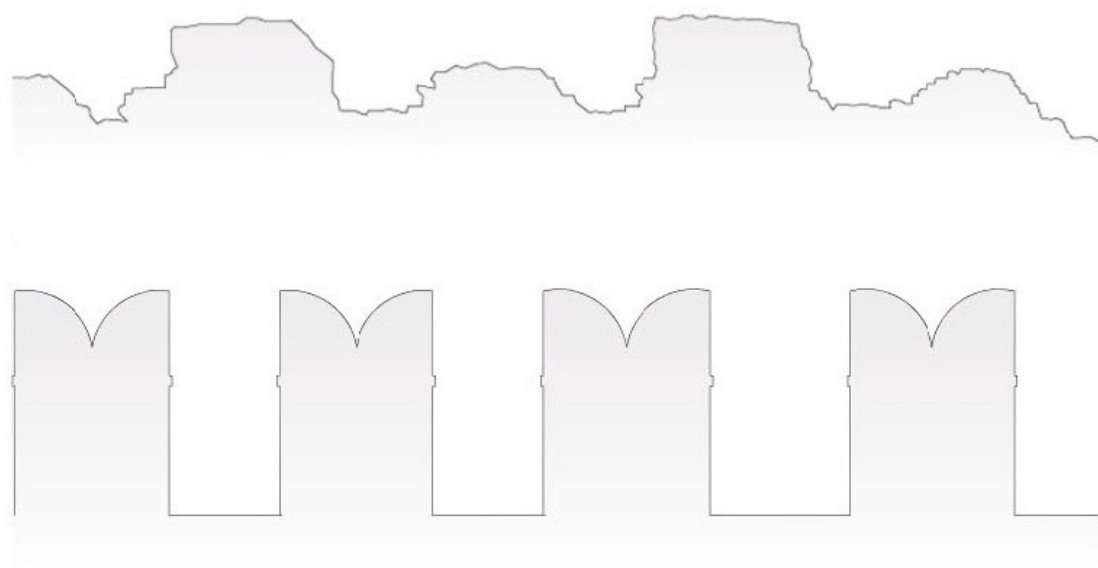


Figura 77 - Profilo relativo ai merli guelfi della Rocca di Reggiolo (sopra) e ai merli ghibellini della Rocca di San Felice sul Panaro (sotto).

⁷⁸ Cfr. E. Viollet Le Duc, *op. cit.*, consultata al sito: http://fr.wikisource.org/wiki/Dictionnaire_raisonn%C3%A9_de_l'architecture_fran%C3%A7aise_du_XIe_au_XVIe_si%C3%A8cle_-_Index_alphab%C3%A9tique_-_B, ultima consultazione 09 Marzo 2017. “[...] Oggi si indicano con la parola *créneau* i fori realizzati in un parapetto per permettere ai difensori delle cinte murarie di vedere gli assalitori e lanciare loro dei proiettili. Ma nel medioevo, con il termine *créneau*, si intendevano tutte le aperture realizzate nelle sommità di torri o di cortine murarie, coperte o scoperte che servivano alla difesa. Noi utilizziamo la denominazione in voga nel medioevo [...]. Diciamo dapprima che gli intervalli pieni lasciati fra i *créneau* sono i merli, non esistono *créneaux* senza merli, come non esistono finestre senza trumeaux [...]”.

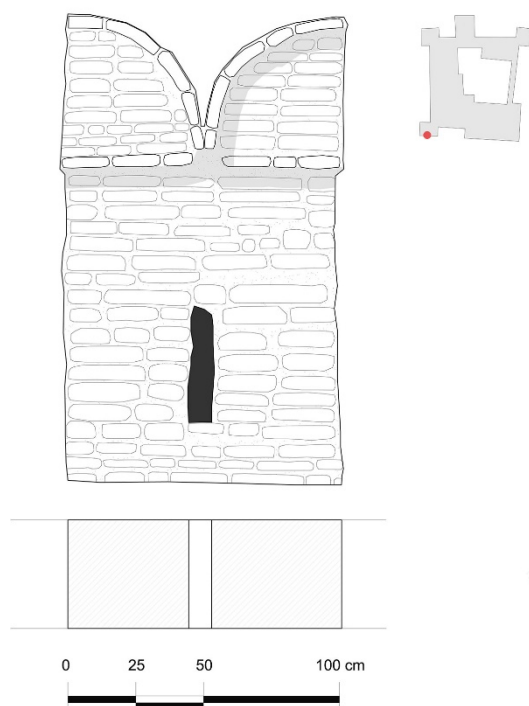


Figura 78 - Merli afferenti la *torre* Sud (lato Sud) della Rocca di San Felice sul Panaro: prospetto e pianta.

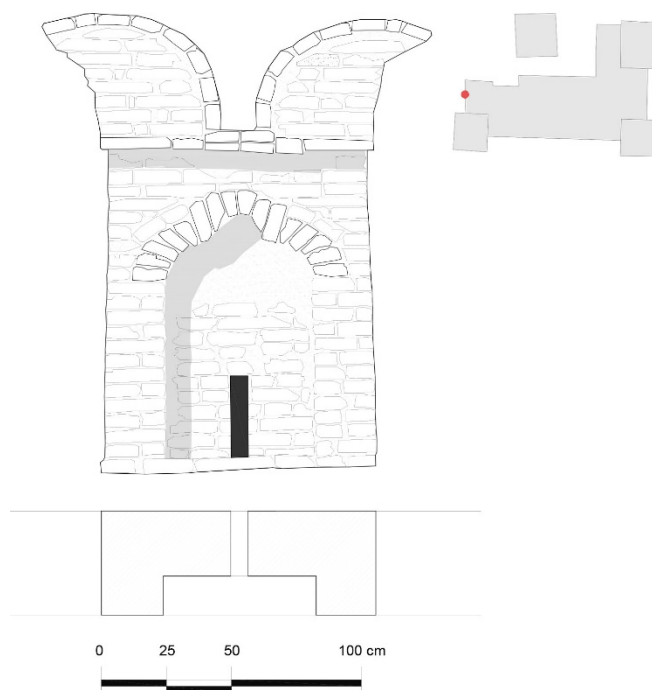


Figura 79 – Merli afferenti il *palatium* (lato Ovest) del Castello delle Rocche di Finale Emilia: prospetto e pianta.

Il rapporto tra la base e l'altezza maggiore⁷⁹ dei merli delle fortificazioni di **San Felice sul Panaro**, **Finale Emilia**, **Ferrara** e **Vignola**, è pari a circa 0,55. Infatti la lunghezza delle basi è dell'ordine di 1 m, mentre l'altezza evincibile è di 1,80 m circa. Lo spessore, per quanto accertabile⁸⁰, è di circa 40 cm. Quindi è possibile dedurre che il rapporto tra lo spessore e l'altezza è di circa 2/9, mentre quello tra lo spessore e la base vale circa 2/5.

Oltre che da un punto di vista dimensionale, i merli delle rocche menzionate al paragrafo precedente, appaiono sostanzialmente identici anche per le *tecniche costruttive* ed i *materiali* utilizzati. Essi infatti sono stati realizzati totalmente in *laterizio*: lungo il profilo superiore messi in opera per coltello, mentre in tutte le altre parti risultano appoggiati sulla base. Lo spessore fa ipotizzare che i merli siano costituiti da cortine murarie a tre teste.

Questi elementi architettonici non presentano in alcun caso particolari forme di raccordo con i paramenti murari adiacenti, cioè non è possibile riscontrare la presenza di cordoli interni o diatoni, costituiti da travi lignee o da elementi in pietra.

Va evidenziato che da un punto di vista formale, è possibile notare una differenza tra i merli delle **Rocche di San Felice sul Panaro** e di **Finale Emilia** e quelli della **Rocca di Vignola**. Infatti nelle prime due fortificazioni è presente un corso di laterizi leggermente aggettanti, tutti disposti per fascia, all'altezza del punto di intersezione degli archi che ne disegnano il profilo.

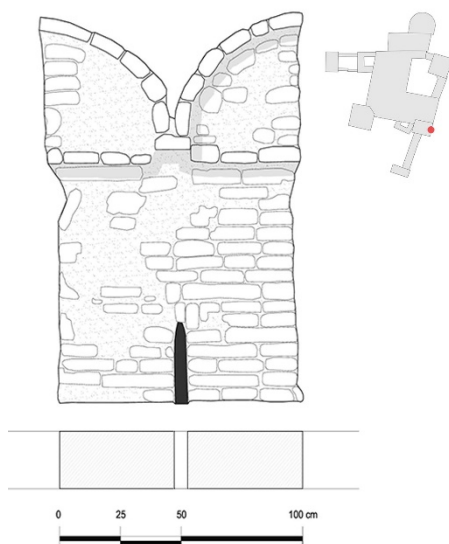


Figura 80 – Merli afferenti la *torre* Sud Est (lato Est) della Rocca di Vignola: prospetto e pianta.

Questi elementi architettonici rappresentano il punto più operativo del sistema di difesa. In risposta all'incremento della forza distruttiva dei mezzi di aggressione, si assistette oltre che

⁷⁹ Nel caso di merli ghibellini si fa riferimento all'altezza misurabile alle estremità di ciascuno di essi e non al centro, nel punto di intersezione degli archi che ne disegnano il profilo.

⁸⁰ Ad eccezione della Rocca di Reggiolo, per la quale le ricerche bibliografiche ed archivistiche condotte, non hanno permesso la consultazione di rilievi sufficientemente dettagliati, da utilizzare come base per studi metrologici attendibili.

all'ispessimento delle masse murarie, anche al gigantismo dei merli, durante il XIII secolo. Nel XIV secolo e fino alla maturità del tipo, raggiunta grazie ai progetti dell'architetto militare Bartolino da Novara, si assiste ad un alleggerimento delle merlature e contemporaneamente alla creazione di forme più elaborate, tendenti ad essere configurazioni decorative piuttosto che difensive. Questo alleggerimento, diffuso in tutta l'area emiliana, non poteva essere ancora influenzato dalla rivoluzione innescata dalle armi da fuoco, ma sta di fatto che poco prima dell'esordio delle nuove artiglierie, l'apparato merlato risultava molto più fragile rispetto quello di un secolo più antico.

Il peso di un merlo della **Rocca di Reggiolo**, realizzata alla fine del XIII secolo, era pari a più di trenta tonnellate, mentre quello relativo allo stesso elemento architettonico appartenente al **Castello di Finale Emilia**, costruito circa un secolo dopo, era di poco superiore alle due tonnellate; ovviamente facendo fede a ricostruzioni approssimate, in base allo stato di conservazione *pre-sisma* dei due sistemi di coronamento presi ora in esame. Un secolo prima della sistematica diffusione della polvere da sparo, il *modus operandi* dell'architettura militare si era quindi già allontanato notevolmente da quello dell'età comunale, sia per quanto riguarda le modalità costruttive che per quanto concerne gli obiettivi strategico-politici.

Le merlature che ritroviamo nella situazione *post-sisma* ad esempio nelle **Rocche di Vignola**, **San Felice sul Panaro**, **Finale Emilia** e **Ferrara**, risultano più adatte alla ronda che alla battaglia.

Alcuni storici sostengono che nella rocca sanfelicianiana, il sistema di merlature, leggero ed elegante, sembra essere predisposto fin dall'inizio a reggere la copertura. A giustificare questa tesi, viene asserito che i merli presentano un profilo molto raffinato ed incline a sorreggere il tetto⁸¹. I sopralluoghi effettuati e le analisi tipologiche condotte tuttavia non sembrano avvalorare questa ipotesi: dalle uniche merlature pervenuteci dopo gli eventi tellurici, quelle appartenenti al torrione Sud - Est, è possibile evincere che i tamponamenti appartengono ad un piano retrostante quello relativo ai merli, quindi con molta probabilità, sono stati costruiti successivamente all'apparato a sporgere (fig. 81).



Figura 81 - Rocca di San Felice sul Panaro, torre Sud-Est, lato Sud: merli e relative tamponature.

⁸¹ A. Nicoli, *op. cit.*, p. 58.

Stessa situazione si presenta nella fortificazione di **Finale Emilia**, nella quale i muri di tamponamento *intermerli*, retrostanti rispetto le merlature, sono diacronici rispetto ai merli (fig. 82). I tamponamenti sono costituiti da murature a tre teste, analogamente ai merli, quindi anche il loro spessore è pari a 40 cm. È possibile rilevare che i muri di tamponamento non sono ben ammorsati ai merli: non sono visibili elementi di continuità tra i due elementi architettonici, ma i laterizi appartenenti ai merli sono giustapposti a quelli relativi ai tamponamenti mediante malte. I paramenti di tamponamento sembrano essere stati messi in opera per colmare i vuoti esistenti (fig. 83), creando un appoggio continuo per le coperture.



Figura 82 - Castello delle Rocche di Finale Emilia, merli e relative tamponature facciata Ovest.

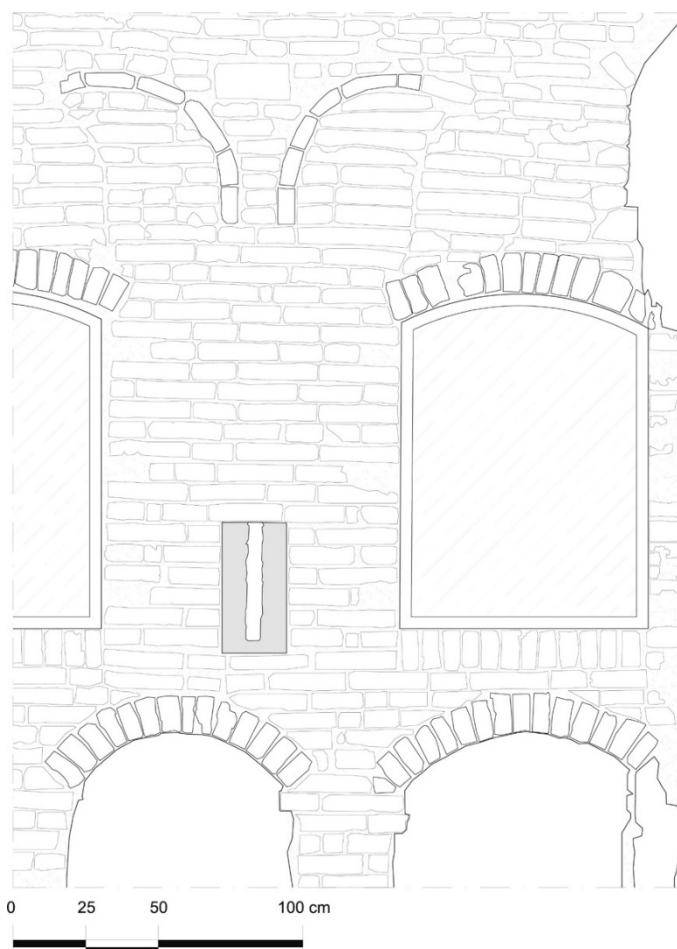


Figura 83 - Castello delle Rocche di Finale Emilia, *palatium* lato Ovest: vista interna delle merlature originarie e dei tamponamenti diacroni.

Una particolarità rilevata esclusivamente nella facciata Nord del torrione Nord del **Castello delle Rocche**, è costituita dalla *doppia merlatura*: per ragioni di rappresentanza (questa parte della fortificazione era il primo elemento visibile a chi raggiungeva Finale Emilia via acqua), la torre angolare è munita di merli ghibellini analoghi a quelli dei torrioni Sud - Est e Sud - Ovest, ma essi sono sormontati da un paramento murario costituito da sette filari di laterizi, punto di appoggio di un'altra merlatura. Quest'ultima seppur formalmente analoga, presenta dimensioni pari alla metà rispetto quelle della prima. I merli superiori non sono allineati verticalmente a quelli inferiori. Analizzate le tecniche costruttive ed i materiali utilizzati in entrambe le file di merli e considerando lo *standard* tipologico delle merlature utilizzate nelle rocche prese in considerazione, è possibile ipotizzare che si sia trattato di una variante in corso d'opera. Va anche evidenziata un'altra peculiarità relativa ai merli appartenenti alla prima fila partendo dal basso: essi presentano un'insolita decorazione costituita da un arco avente il profilo trilobato (come il profilo dei beccatelli sottostanti), tamponato con un paramento murario sotto squadro (fig. 84).



Figura 84 - Facciata Nord, torre Nord, Castello delle Rocche di Finale Emilia, doppia merlatura.

Anche per quanto riguarda la **Rocca di Vignola** sono stati rilevati tamponamenti *intermerli*, messi in opera in tempi successivi. In questo caso i paramenti murari sorgono sottosquadro rispetto alle merlature originarie (fig. 85).



Figura 85 – Rocca di Vignola, merli e relative tamponature facciata Est.

La **Rocca di Cento** presenta situazioni differenti secondo il macroelemento strutturale considerato: nella *torre maestra* i *merli* mostrano profili superiori mozzati (figg. 86-89) per poter assumere una forma idonea a sostenere la copertura. Nelle *torri angolari minori* invece è visibile il disegno preciso e ben definito dei *merli*, che lascia intravedere, sul retro, una struttura moderna intelaiata acciaio-vetro (fig. 87-88-90).



Figura 86 – Torre maestra (torre Sud), Rocca di Cento, merlatura con profilo superiore mozzato.



Figura 87 – Torre Nord-Ovest, Rocca di Cento, merlatura con profilo originale e retrostanti infissi in acciaio

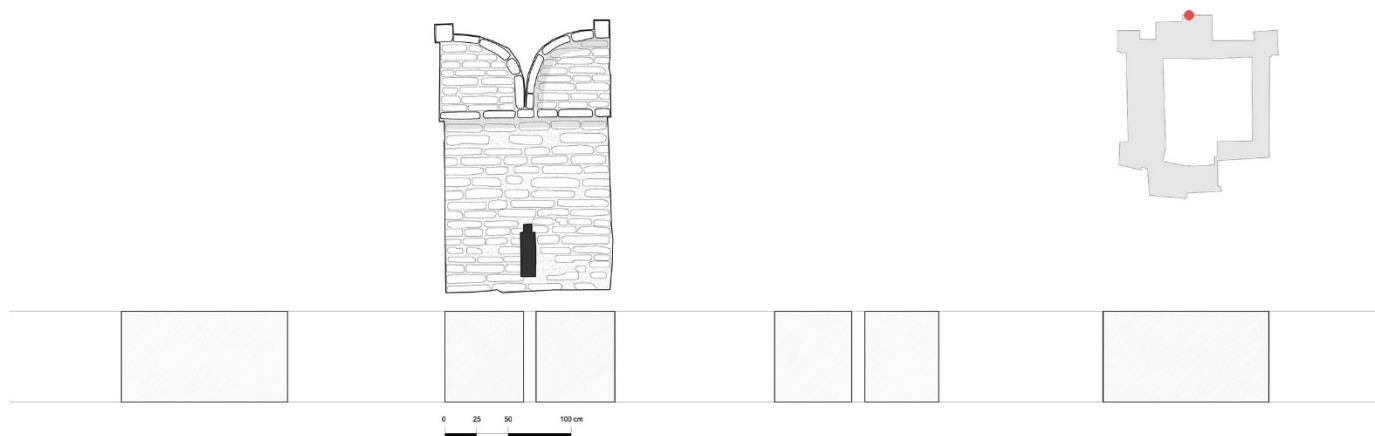


Figura 88 - Merli afferenti la *torre portaia* Nord (lato Nord) della *Rocca di Cento*: prospetto e pianta.

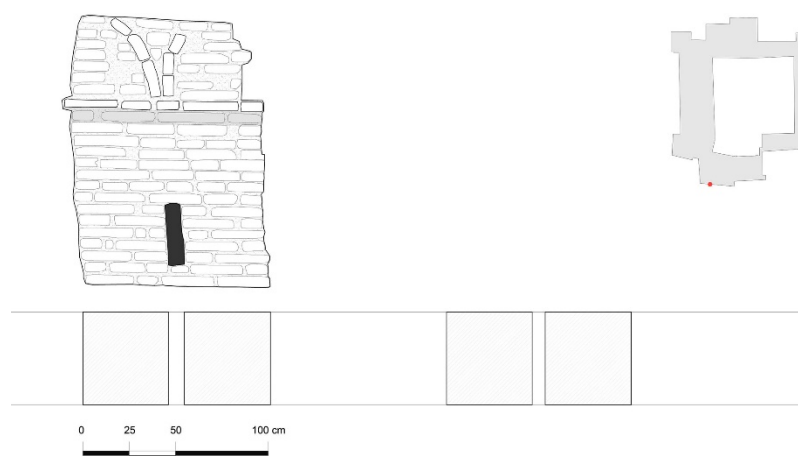


Figura 89 - Merli della la *torre maestra* (lato Sud) della *Rocca di Cento*: prospetto e pianta.



Figura 90 - Rocca di Cento, merli e relative tamponature *palatium* Ovest.

Nelle fortificazioni finora considerate quindi i merli non sostenevano originariamente gli elementi di copertura, sia lungo i *camminamenti di ronda* che in corrispondenza delle *torri*, ma soltanto attraverso la costruzione successiva delle tamponature *intermerlo*, essi iniziano a costituire un appoggio per le coperture.

Nella **Rocca di Reggiolo**, non essendo presenti strutture di copertura, i merli sono intervallati da spazi vuoti e risultano liberi.

2.4.2 I beccatelli

I beccatelli, usualmente utilizzati nei manufatti fortificati per sostenere i camminamenti di ronda, sono paragonabili a delle mensole che sostengono i solai a sbalzo degli apparati a sporgere, aventi pianta maggiore di quella sottostante. Questi elementi architettonici assolvono in ogni caso a funzione strutturale, ma anche decorativa, infatti il loro fitto susseguirsi determina giochi di sporgenze e rientranze, pieni e vuoti, luci ed ombre, che rientrano appieno negli aspetti ornamentali delle parti sommitali di ciascun manufatto fortificato.

Negli edifici presi in considerazione, i *beccatelli* mostrano *prospetti* costituiti da profili verticali lineari. In *sezione* hanno spessore nullo in corrispondenza dell'estremità inferiore, poiché coincidono con la cortina muraria, salendo verso la sommità invece la loro profondità aumenta linearmente. Essi si alternano agli spazi vuoti con passo pari ad uno nelle torri minori di ogni fortificazione, mentre nelle torri principali il passo aumenta, ovvero il rapporto tra la lunghezza della base di ogni beccatello (dell'ordine di 0,5 m) e quella dello spazio *interbeccatelli* (mediamente 0,8 m), vale all'incirca sei decimi.

Le *dimensioni* di questi elementi architettonici sono variabili sia considerando fortificazioni differenti, sia nelle varie parti che compongono ciascun manufatto.

Ad esempio la torre principale della **Rocca di Vignola** mostra beccatelli con altezza di 2,6 m e profondità di 0,8 m. L'apparato a sporgere, sul lato Sud (figg. 91-92) della medesima fortificazione, presenta invece beccatelli aventi la stessa altezza, ma con spessore pari a 0,6 m circa.

I corpi di fabbrica della **Rocca di Cento** invece hanno, in corrispondenza dell'apparato a sporgere, beccatelli più snelli rispetto quelli vignolesi: la profondità massima varia da 0,2 a 0,3 m e l'altezza è compresa fra 2,1 m e 3,5 m (fig. 93).

I beccatelli sono ben ammorsati ai paramenti murari retrostanti, come testimoniato dalle tracce lasciate nei laterizi ad altezza dell'apparato a sporgere dei torrioni angolari, tuttora visibile, della facciata Sud del **Castello delle Rocche** (fig. 94), in corrispondenza dei beccatelli andati distrutti nel tempo⁸². Essi furono realizzati in assoluta continuità con i paramenti murari, testimonianza che essi non assolvevano esclusivamente a funzione decorativa, ma anche strutturale.

In tutti i casi analizzati questi elementi architettonici sono stati realizzati totalmente in *laterizio*, disposti alternativamente per fascia e per coltello. Lungo gli spessori massimi riscontrati, ad esempio,

⁸² Da un'attenta analisi dei paramenti murari del corpo ubicato a Sud del complesso di Finale Emilia, è stata riscontrata anche la presenza di una serie di fori aventi le medesime dimensioni, disposti alla stessa altezza e a intervalli orizzontali pressoché regolari, i quali potrebbero essere stati utilizzati come buche pontae o per inserire armature lignee al fine di sorreggere la parte aggettante. Quest'ultima ipotesi è stata utilizzata molto spesso per la costruzione dei beccatelli, infatti la tecnica sopra descritta è rilevabile anche in manufatti fortificati appartenenti ad aree geografiche diverse da quella analizzata, come ad esempio nel *Castello Bufalini di Città di Castello* (PG). Cfr. A. Ugolini, *Rilievi ed indagini sui pavimenti antichi in cotto di ambito Tifernate: le mattonelle decorate del Castello Bufalini a San Giustino*, in AA. VV, *Scienza e Beni Culturali - Le superfici dell'Architettura: il cotto. Caratterizzazioni e trattamenti*, All'Insegna del Giglio, Padova 1992, pp.379-388.

mediante i rilievi fotografici realizzati, si può constatare che siano stati utilizzati due laterizi per fascia ed uno per coltello.

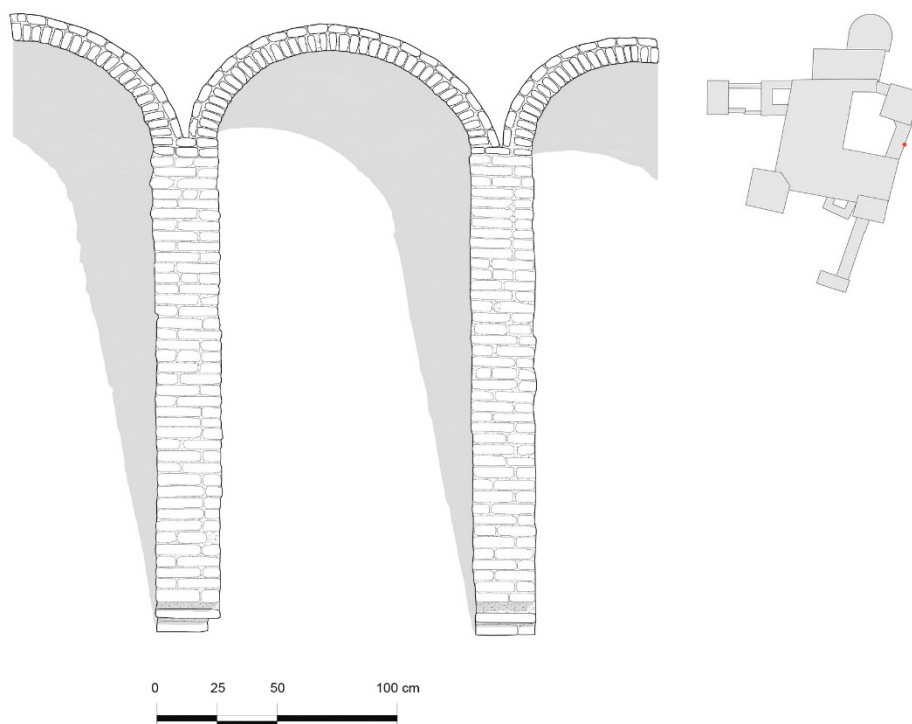


Figura 91 - Beccatelli afferenti il *palatium* Est, della Rocca di Vignola.

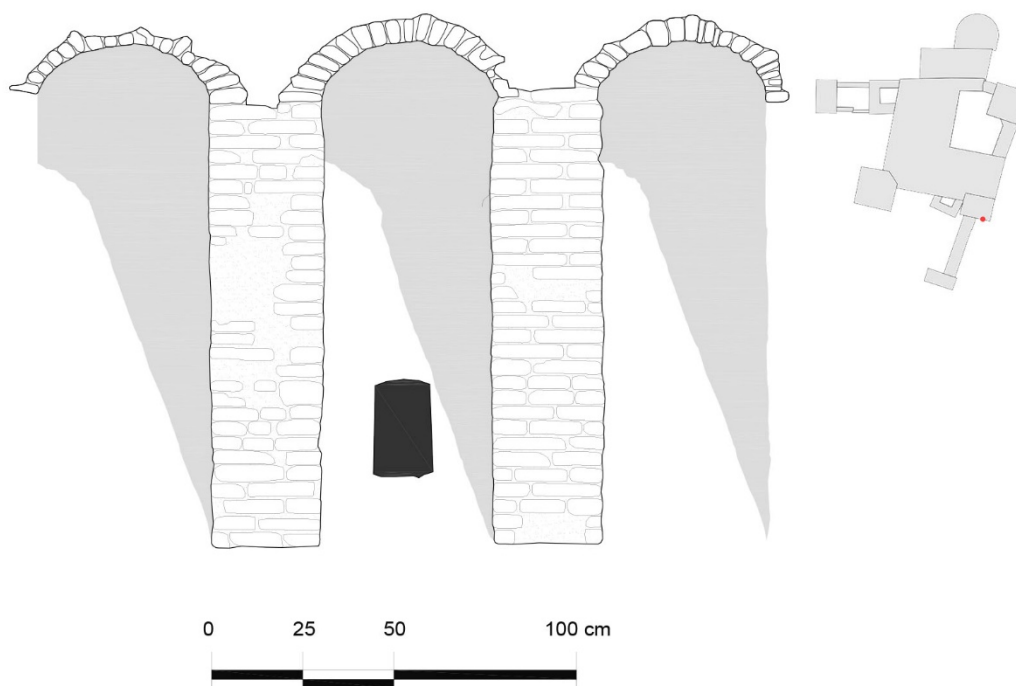


Figura 92 - Beccatelli afferenti la *torre* Sud-Est (facciata Sud) della Rocca di Vignola.



Figura 93 - Beccatelli afferenti la *torre Nord minore*, adiacente alla *torre portaia* (lato Nord) della Rocca di Cento:.



Figura 94 - Facciata Sud, Castello delle Rocche di Finale Emilia, tracce dell'ammorsamento beccatelli-paramento murario.

Per quanto riguarda la *sagoma orizzontale* la tipologia di beccatelli più diffusa risulta essere quella caratterizzata da profilo ad *arco a tutto sesto*, riscontrabile nella fortificazione vignolese ed in quella sanfelicianiana. Va evidenziato che in quest'ultima i beccatelli non sono presenti lungo tutto il perimetro dell'edificio, ma esclusivamente in corrispondenza dell'apparato a sporgere della facciata Nord e delle parti sommitali delle torri (fig. 95)⁸³. Inoltre nelle cortine murarie delle facciate Est e Ovest, sono visibili dei *falsi beccatelli* (figg. 96-97-98-99), ovvero mensole laterizie non aventi attualmente altra

⁸³ Gli eventi sismici del maggio 2012 hanno cancellato totalmente le parti sommitali delle torri angolari, ad eccezione del torrione di Sud - Est, per il quale sono ancora oggi visibili i beccatelli con profilo a tutto sesto. In ogni caso, dai materiali fotografici e dalle pubblicazioni precedenti gli eventi tellurici, è possibile asserire che tutte le torri presentavano beccatelli analoghi a quelli non perduti.

funzione se non quella decorativa. Questi ultimi hanno altezze minori rispetto quelle riscontrate nei beccatelli veri e propri.

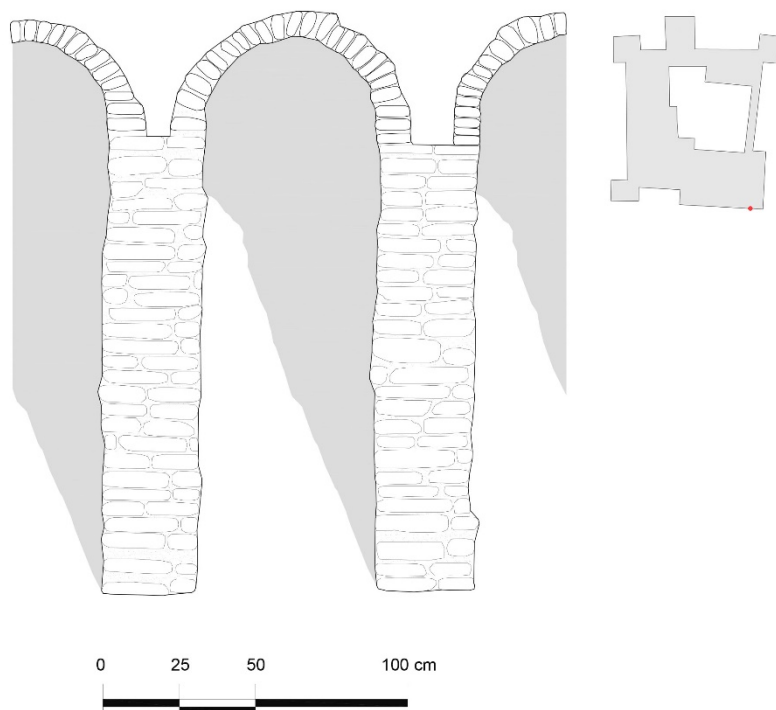


Figura 95 - Beccatelli afferenti la *torre Sud* (lato Sud) della Rocca di San Felice sul Panaro.

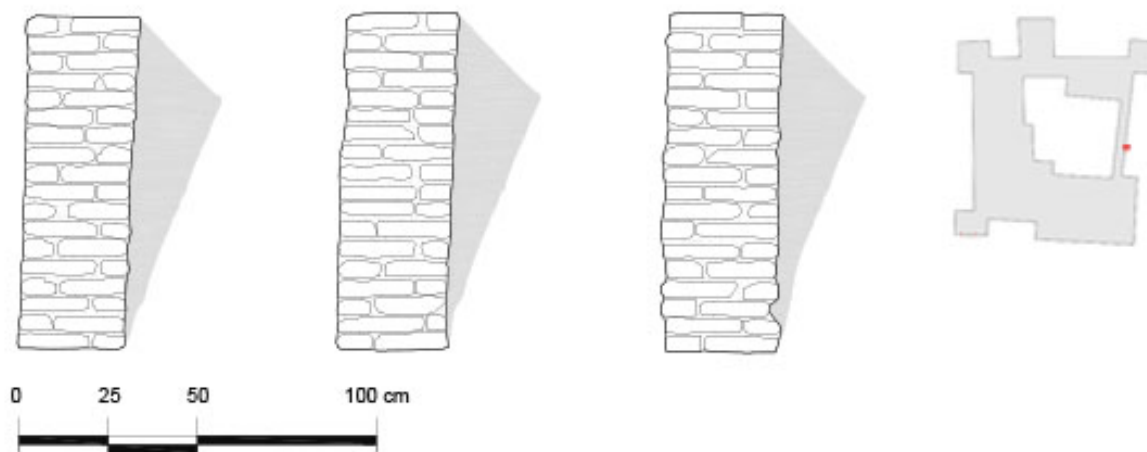


Figura 96 – *Falsi beccatelli* afferenti la *cortina muraria Est*, della Rocca di San Felice sul Panaro.



Figura 97 - Falsi beccatelli relativi la facciata Ovest della Rocca di San Felice sul Panaro.



Figura 98 - Falsi beccatelli relativi la facciata Est della Rocca di San Felice sul Panaro.



Figura 99 - Falsi beccatelli facciata Est Rocca di San Felice sul Panaro. La distruzione del primo elemento verso Sud permette di constatarne il buon ammassamento con la cortina muraria retrostante.

Particolari alcuni beccatelli della **Rocca di Vignola**, nella quale in corrispondenza della *rocchetta Nord* (costruita a partire dal XV sec.), presentano profilo a *sesto acuto*.

Molto rari sono invece i beccatelli della **Rocca di Finale Emilia** (fig. 100), in quanto hanno *profilo trilobato*. Altra particolarità dei beccatelli relativi al Castello delle Rocche finalese è costituita da laterizi leggermente aggettanti, sagomati a forma di *toro* (fig. 101), collocati alla base di ciascun beccatello, che sanciscono il confine tra quest'ultimo e il paramento murario adiacente. Questa caratteristica avente funzione strutturale se collocata ai piedi del beccatello, viene riproposta, a solo scopo decorativo, in corrispondenza del piano di imposta degli archi trilobati sopra menzionati. Tutti i beccatelli del maniero finalese presentano le caratteristiche costruttive appena descritte, tuttavia hanno dimensioni differenti secondo il macro-elemento cui appartengono: profondità di 80 cm e altezza di 320 cm per i beccatelli afferenti le torri e profondità di 40 cm e altezza di 200 cm per quelli del *palatium Ovest*.



Figura 100 - Beccatelli afferenti il *palatium Ovest*, del Castello delle Rocche di Finale Emilia.



Figura 101 – Laterizi aggettanti sagomati a forma di *toro*, afferenti la *facciata Sud della torre Sud-Est* del Castello delle Rocche di Finale Emilia: prospetto e sezione (ipotesi ingombri).

La **Rocca di Reggiolo**, poiché sprovvista di camminamenti di ronda, non è munita neanche di beccatelli.

2.5 Schede di rilevamento delle tredici strutture fortificate indagate

Le architetture fortificate contenute nel documento estrapolato dal *database*, fanno riferimento a tutte le tipologie di fortificazioni, genericamente chiamate *castellum*.

Gli esemplari più antichi elencati sono le *torri difensive isolate*, le quali, pur appartenendo all'ampissimo ventaglio di strutture identificate mediante la parola castello, esulano ancora dalla presente ricerca⁸⁴. Esse rappresentano l'estrema contrazione del perimetro difensivo. Questa tipologia di strutture fortificate, essendo molto sviluppate in altezza, oltre ad indubbi vantaggi difensivi, consentiva anche migliori possibilità di avvistamento.

Nell'elenco analizzato sono inoltre presenti alcuni esemplari di *castello recinto*⁸⁵. Questa tipologia, costituita da una o più cinte murarie concentriche, rafforzata da una torre e munita di un ingresso fortificato, veniva utilizzata in caso di necessità dal contado ed anche dalla popolazione di un vicino borgo. Potevano essere un bene comune o di diritto signorile.

Alla fine del XV sec. le funzioni residenziali e difensive si separarono, dando origine al *castello residenziale*⁸⁶. La difesa contro le artiglierie molto sviluppate, con il passare del tempo, richiedeva strutture murarie che non permettevano di offrire gli agi e le comodità ormai ritenuti indispensabili per una corte signorile. Si continuarono però a costruire molte residenze a forma di castello, per ragioni di prestigio, ma senza la pretesa di resistere ad un assedio organizzato. Sono molto numerose le testimonianze di castelli con vocazione residenziale, alcuni di essi nati proprio con questa destinazione d'uso, altri invece divenuti dimore signorili durante il loro ciclo di vita.

Altri esemplari riportati nel documento estrapolato dal *database* sono rappresentati da *porte cittadine* appartenenti a mura urbane.

Secondo quanto appena illustrato, le 13 fortificazioni selezionate, da prendere in considerazione nella presente ricerca, sono: il *Castello di Galeazza* a Crevalcore (BO), il *Castello dei Manzoli* a Minerbio (BO), il *Castello Estense* di Ferrara (FE), il *Castello Campori* a Soliera (MO), il *Castello dei Pico* a Mirandola (MO), la *Rocca di San Felice sul Panaro* (MO), il *Castello delle Rocche* a Finale Emilia (MO), la *Rocca di Vignola* (MO), la *Rocca dei Gonzaga* a Novellara (RE), la *Rocca di Reggiolo* (RE), la *Rocca di Cento* (FE), il *Forte Estense* a Bondeno (FE) e il *Castello Lambertini* a Poggio Renatico (FE).

⁸⁴ Una struttura inesistente è ad esempio il cosiddetto *Castello di Santa Bianca* a Bondeno (FE). I manufatti scomparsi sono l'ex mercato di *Porta Nova* a Carpi (MO) ed il complesso la *Rocca* a Campogalliano (MO), attualmente adibito a parco, che ricalca mediante la propria orografia l'antica pianta di un castello ivi esistente. Tra gli edifici non fortificati sono state rilevate sia strutture civili, come scuole, ad esempio il *Polo Barberini* a Crevalcore (BO), la *Scuola Primaria Rodari*, all'interno dell'ex monastero della *Rocca a Cento* (FE), torri piezometriche, ad esempio quelle di *Finale Emilia* (MO), *Bondeno* (FE), *Mirabello* (FE) e *Soliera* (MO), sia strutture ecclesiastiche, tra le quali l'oratorio *Madonna della Porta* a Cento (FE). Le numerose torri rilevate sono in parte civiche, come ad esempio la *Torre dell'orologio del Palazzo della Ragione* di Ferrara, la *Torre Civica Ferraresi* di Camposanto (MO), quelle di *Novi* (MO), di *Guastalla* (RE), di *Medicina* (BO) e di *San Felice sul Panaro* (BO), e in parte campanarie, come la *Ghirlandina* di Modena, quella di *Rubiera* (RE) e quella di *Correggio* (RE).

⁸⁵ G.C. Bascapè, C. Perogalli, *op. cit.*, p. 112.

⁸⁶ D. Taddei (a cura di), *op. cit.*, p. 84.

Per gli esemplari sopra elencati, sono stati effettuati dei sopralluoghi, durante i quali sono stati realizzati rilievi fotografici, per constatarne gli effettivi quadri fessurativi.

In seguito è stata predisposta una scheda di rilevamento tipo, pensata come strumento di raccolta dati, i quali pur essendo solamente descrittivi, possono fornire un ottimo aiuto nel processo di confronto delle informazioni. L'insieme delle nozioni assemblate costituisce un utile strumento ai fini delle successive valutazioni, in quanto permette di creare una banca dati omogenea, a partire dalle diverse tipologie di notizie disponibili per ciascun manufatto.

Ogni scheda raccoglie i dati essenziali di ciascuna struttura fortificata e contiene sinteticamente sia i risultati delle ricerche storico bibliografiche condotte, sia le informazioni recepite durante i sopralluoghi. La struttura logica delle schede di rilevamento, segue il percorso della conoscenza indicato nel D.P.C.M. 9 febbraio 2011, *Direttiva del Presidente del Consiglio per la valutazione e riduzione del rischio sismico per il patrimonio culturale*. Uno dei principali obiettivi della direttiva è infatti specificare un percorso di conoscenza. Quest'ultimo “[...] può essere ricondotto alle seguenti attività: l'identificazione della costruzione, la sua localizzazione in relazione a particolari aree a rischio, ed il rapporto della stessa con il contesto urbano circostante; l'analisi consiste in un primo rilievo schematico del manufatto [...]; il rilievo geometrico della costruzione nello stato attuale, inteso come completa descrizione stereometrica della fabbrica, compresi gli eventuali fenomeni fessurativi e deformativi; l'individuazione della evoluzione della fabbrica, intesa come sequenza delle fasi di trasformazione edilizia dall'ipotetica configurazione originaria all'attuale; l'individuazione degli elementi costituenti l'organismo resistente, nell'accezione materica e costruttiva, con una particolare attenzione rivolta alle tecniche di realizzazione, ai dettagli costruttivi e alle connessioni tra gli elementi; l'identificazione dei materiali, del loro stato di degrado, delle loro proprietà meccaniche; la conoscenza del sottosuolo e delle strutture di fondazione [...]”. Le indagini conoscitive non possono quindi in alcun modo prescindere dalla storia del manufatto, dalla geometria degli elementi strutturali, dalle tecniche costruttive utilizzate e dai fenomeni di dissesto e di degrado rilevati. Le fasi di conoscenza non vanno lette in modo sequenziale, ma integrato. Nelle schede di sopralluogo, la restituzione delle informazioni acquisite segue il MODULO A delle schede previste dal Ministero per i Beni e le Attività Culturali per esporre sistematicamente le conoscenze relative il patrimonio culturale italiano. Il livello di conoscenza dei manufatti indagati che ne scaturisce è infatti di tipo speditivo: i dati sono stati “[...] acquisiti mediante l'osservazione diretta delle qualità della fabbrica, una prima stima dimensionale della stessa e a fonti documentarie, quali indagini storiche [...]”⁸⁷.

Ognuna di esse viene identificata dal nome del manufatto indagato⁸⁸ ed è suddivisa in cinque sezioni. Ogni blocco è omogeneo per categoria di informazioni contenute.

⁸⁷ Ministero per i beni e le attività culturali, CIRCOLARE n. 26 del 2 Dicembre 2010, *op. cit.*, Gangemi Editore, pp. 38-39, 129.

⁸⁸ Il numero che precede il nome di ciascun manufatto indagato, non ha un particolare significato, ma è stato inserito esclusivamente per dare un ordine progressivo alle schede.

Il primo contiene l'ubicazione della fabbrica storica, individuata attraverso il luogo (il comune e la provincia di appartenenza), l'indirizzo, con eventuale indicazione della frazione, le coordinate geografiche (esprese in gradi, minuti, secondi), le destinazioni d'uso che il manufatto ha assunto nel corso del tempo e che aveva al momento del sisma e infine la proprietà (evidenziando se si tratta di un edificio pubblico oppure privato). Nella sezione iniziale inoltre viene riportata una pianta che evidenzia la posizione attuale dell'edificio rispetto allo spazio urbano circostante, permettendone quindi la contestualizzazione. Nella planimetria di cui sopra sono anche evidenziati simbolicamente gli eventi sismici del 20 e del 29 Maggio, attraverso frecce con la stessa direzione di propagazione dei due *main shock*.

Nel secondo blocco di informazioni, vengono descritte le evoluzioni storiche più importanti (con indicazione delle principali date di formazione e trasformazione) ed è riportata la descrizione sommaria del complesso fortificato considerato. Sempre all'interno della seconda sezione, si affina la descrizione: si scende di scala e vengono analizzati gli elementi architettonici presenti, inoltre viene data indicazione dei materiali messi in opera e delle tecniche costruttive utilizzate.

A partire dalla terza sezione, le schede iniziano a far riferimento ai meccanismi di danno innescatisi sotto sisma. Per ognuno di essi vengono indicati gli elementi architettonici interessati e una sigla alfanumerica per poter accedere all'abaco dei cinematismi e ricavare altre informazioni. Un'altra parte che costituisce la terza sezione, è quella relativa agli interventi di presidio rilevati, messi in opera dopo gli eventi tellurici del Maggio 2012.

Il quarto blocco elenca le fonti principali consultate per poter redigere ciascuna scheda di rilievo, suddividendo fonti bibliografiche, archivistiche e sitografia.

La parte conclusiva di ciascuna scheda comprende un rilievo fotografico sintetico, desunto dalla banca dati di immagini raccolte durante i numerosi sopralluoghi effettuati, di supporto alla descrizione del quadro fessurativo rilevato. In alcuni casi il riconoscimento delle lesioni più lievi risulta più difficoltoso per la distanza del manufatto dal punto di ripresa, a causa dell'inagibilità nella situazione post sisma.

Le schede di rilevamento di seguito riportate rappresentano il risultato della catalogazione realizzata per le tredici strutture fortificate selezionate.

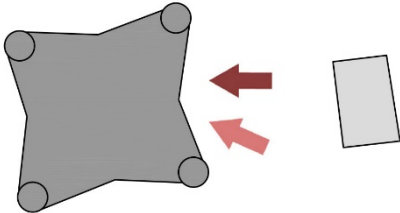
2.6 Individuazione dei casi di studio

n° PROGRESSIVO e DENOMINAZIONE MANUFATTO

<p>LUOGO INDIRIZZO COORDINATE GEOGRAFICHE Latitudine Longitudine DESTINAZIONE USO ATTUALE PROPRIETÀ</p>	<p>FIG. 1 - Planimetria del manufatto in oggetto, inserita nell'attuale contesto, con indicazione della direzione del sisma del 20 maggio e di quella del 29 maggio.</p>
<p>NOTIZIE STORICHE AUTORE</p>	<p>DESCRIZIONE</p>
<p>ELEMENTI ARCHITETTONICI (PRIMARI) <i>MASTIO</i> <i>TORRI MAESTRE</i> <i>TORRI PORTAIE</i> <i>VOLTE</i> <i>COPERTURE</i> <i>MURI A SCARPA</i> FOSSATI</p>	<p>ELEMENTI ARCHITETTONICI (SECONDARI) <i>MERLI</i> <i>BECCATELLI</i></p>
<p>MATERIALI <i>PIETRA</i> <i>LATERIZIO</i> <i>LEGNO</i></p>	

TECNICHE COSTRUTTIVE
CINEMATISMI DI DANNO Identificati con le sigle alfanumeriche dell'ABACO DEI CINEMATISMI.
INTERVENTI DI PRESIDIO POST SISMA 2012
BIBLIOGRAFIA SITOGRAFIA ARCHIVI
RILIEVO FOTOGRAFICO

1. FORTE ESTENSE O ROCCA POSSENTE DI BONDENO

<p>LUOGO: Bondeno (FE) INDIRIZZO: Via Argine Po, 1 COORDINATE GEOGRAFICHE: Latitudine_44° 56' 43.51" Longitudine_ 11° 25' 20.13" DESTINAZIONE: difensivo-militare. Mai utilizzata come residenza. USO ATTUALE: - PROPRIETÀ: Comune di Bondeno</p>	 <p>Fig. 1 – Planimetria del Forte Estense, inserita nell'attuale contesto. In <i>bordeaux</i> direzione sisma del 20 maggio, in <i>rosa</i> direzione scossa del 29 maggio</p>
<p>NOTIZIE STORICHE: la Rocca a pianta stellata attualmente visibile, risale probabilmente a prima del 1570 ed è stata ricostruita sul sedime di una struttura fortificata eretta nel XI sec. e distrutta nel 1521. AUTORE: -</p>	<p>DESCRIZIONE: Il manufatto è costituito da un unico corpo, a pianta poligonale, più precisamente a forma di stella, da cui il nome. Ciascun vertice è sormontato una torre a pianta circolare.</p>
<p>ELEMENTI ARCHITETTONICI (PRIMARI) MASTIO: - TORRI MAESTRE: torrette a pianta circolare presenti su ciascun angolo del manufatto. Più alte rispetto la copertura del complesso. TORRI PORTAIE: - VOLTE: in sede di sopralluogo è stato possibile accertare esclusivamente che il solaio di copertura è ligneo e a doppia orditura. COPERTURE: secondo quanto accertabile dai sopralluoghi effettuati, manto di copertura in coppi, sorretto da struttura lignea. MURI A SCARPA: hanno un'altezza molto ridotta rispetto quella del complesso. FOSSATI: seguono il perimetro della rocca e sono ancora oggi visibili.</p>	<p>ELEMENTI ARCHITETTONICI (SECONDARI) MERLI: sono presenti tre merli giganti per ogni lato della rocca, aventi profilo rettilineo, a sostegno della copertura. BECCATELLI: presenti lungo tutto il perimetro. Ognuno di essi in prospetto termina con un arco a sesto ribassato.</p>
<p>MATERIALI (informazioni desunte da quanto rilevato durante i sopralluoghi effettuati <i>in loco</i>, non avendo la possibilità di accedere all'interno del fabbricato stesso) PIETRA: - LATERIZIO: tutti gli elementi architettonici della rocca sono stati realizzati utilizzando laterizi in argilla cotti, messi in opera mediante malte di calce. LEGNO: solaio di copertura a doppia orditura.</p> <p>TECNICHE COSTRUTTIVE (informazioni desunte da quanto rilevato durante i sopralluoghi effettuati <i>in loco</i>, non avendo la possibilità di accedere all'interno del fabbricato stesso)</p>	

I paramenti murari esterni sono omogenei, a corsi regolari. Anche la tessitura risulta abbastanza regolare. Non è possibile ricavare altre informazioni in quanto la Rocca, al momento dei sopralluoghi, era inagibile.

CINEMATISMI DI DANNO:

1 – Flessione orizzontale di parete: in corrispondenza del maschio murario centrale e delle torri laterali della facciata Sud (si veda ABACO CINEMATISMI **E2**).

INTERVENTI DI PRESIDIO POST SISMA 2012:

- Trefoli metallici messi in opera come cerchiature, con angolari lignei per preservare gli spigoli, scongiurano l'eventuale collasso dei maschi murari.
- Puntelli lignei a forma di croce di Sant'Andrea, in corrispondenza delle finestre, per evitare il collasso delle murature in corrispondenza di queste ultime.

BIBLIOGRAFIA:

- Ravenna D., *Sul recupero della Rocca di Stellata*, Architettura Fortificata – Atti del I Congresso Internazionale Istituto Italiano dei Castelli, sezione Emilia Romagna, 1978, pp. 215-217.

SITOGRAFIA:

-<http://www.comune.bondeno.fe.it/rocca-possente/106-rocca-possente-stellatavia-argine-po>, ultima consultazione 01 Gennaio 2017.

ARCHIVI: -

RILIEVO FOTOGRAFICO



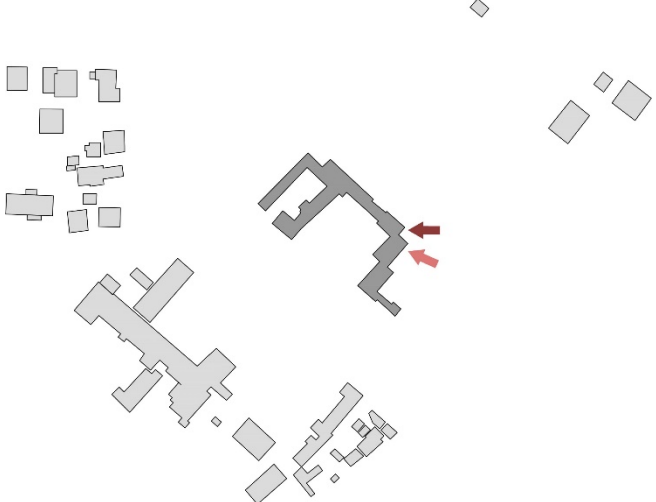
2. ROCCA DI CENTO

<p>LUOGO: Cento (FE)</p> <p>INDIRIZZO: Piazzale della Rocca, 17</p> <p>COORDINATE GEOGRAFICHE: Latitudine_44° 42' 42.89" Longitudine_ 11° 18' 19.99"</p> <p>DESTINAZIONE: difensivo-militare e prigione.</p> <p>USO ATTUALE: sede di mostre e manifestazioni culturali e gastronomiche</p> <p>PROPRIETÀ: Comune di Cento</p>	 <p>Fig. 1 – Planimetria della Rocca di Cento, inserita nell'attuale contesto. In <i>bourdeaux</i> direzione sisma del 20 maggio, in rosa direzione scossa del 29 maggio</p>
<p>NOTIZIE STORICHE: la Rocca è frutto di varie fasi storiche. Il manufatto attualmente visibile risale probabilmente al XV sec. ed è stato ricostruito sul sedime di una struttura fortificata eretta nel XIII sec.</p> <p>AUTORE: -</p>	<p>DESCRIZIONE: Il manufatto è costituito da tre torri angolari (a pianta quadrangolare), un mastio e una torre portaia, collegati tra loro da cortine murarie ed edifici. I vari elementi sono assemblati in pianta in maniera poligonale. Descrivono al centro una corte interna.</p>
<p>ELEMENTI ARCHITETTONICI (PRIMARI)</p> <p>MASTIO: a pianta quadrangolare, occupa la zona Sud-Ovest del complesso. Presenta dimensioni maggiori, sia in pianta che in alzato, delle altre tipologie di torri presenti.</p> <p>TORRI MAESTRE: a pianta quadrangolare, sono presenti in corrispondenza degli angoli Nord, Ovest ed Est del manufatto. Sono tutte alte uguali e superano il livello di copertura di edifici e cinte murarie.</p> <p>TORRI PORTAIE: a pianta quadrangolare, sorge in mezzeria della facciata Nord del manufatto. È più alta delle torri maestre.</p> <p>VOLTE: informazioni non accertabili in fase di sopralluogo. Presenza di strutture voltate accertata dagli elaborati grafici ricevuti.</p> <p>COPERTURE: manto di copertura in coppi. Struttura portante non accertabile in fase di sopralluogo.</p>	<p>ELEMENTI ARCHITETTONICI (SECONDARI)</p> <p>MERLI: sono presenti lungo il perimetro di tutti gli elementi architettonici. Non presentano profilo rettilineo, ma curvilineo (merli ghibellini) e sostengono i pacchetti di copertura.</p> <p>BECCATELLI: presenti lungo tutto il perimetro (ad eccezione di una porzione del <i>palatium</i> Nord-Ovest). Ognuno di essi in prospetto termina con un arco a sesto acuto.</p>

<p>MURI A SCARPA: lo studio delle proporzioni degli elementi lascia ipotizzare che in origine l'attacco a terra era costituito da muri a scarpa. FOSSA: circondavano il manufatto, ma sono stati tombati e attualmente non sono più visibili.</p>	
<p>MATERIALI (informazioni desunte da quanto rilevato durante i sopralluoghi effettuati <i>in loco</i>, non avendo la possibilità di accedere all'interno del fabbricato stesso) PIETRA: soglie finestre e scala accesso principale. LATERIZIO: tutti gli elementi architettonici della rocca sono stati realizzati utilizzando laterizi in argilla cotti, messi in opera mediante malte di calce. LEGNO: -</p>	
<p>TECNICHE COSTRUTTIVE (informazioni desunte da quanto rilevato durante i sopralluoghi effettuati <i>in loco</i>, non avendo la possibilità di accedere all'interno del fabbricato stesso) I paramenti murari appartenenti ad elementi architettonici diversi, sono molto differenti, in alcuni casi variano anche da porzione a porzione di uno stesso elemento.</p>	
<p>CINEMATISMI DI DANNO: 1 – <i>Ribaltamento composto fuori dal piano corpo principale:</i> torre isolata, ubicata a Sud-Ovest del complesso. Trattasi di meccanismo antecedente il sisma (si veda ABACO CINEMATISMI D2).</p>	
<p>INTERVENTI DI PRESIDIO POST SISMA 2012: non messi in opera.</p>	
<p>BIBLIOGRAFIA: - Librenti M. (a cura di), <i>La Rocca di Cento: indagini storiche e archeologiche</i>, All'Insegna del Giglio, Firenze 2006. - Samaritani A., <i>La Rocca nella storia di Cento dalle origini al XVIII secolo</i>, Comune di Cento, Cento 1995. SITOGRAFIA: - http://www.comune.cento.fe.it, ultima consultazione 08 Giugno 2015. ARCHIVI: -</p>	
<p>RILIEVO FOTOGRAFICO</p> <div data-bbox="197 1496 810 1899">  </div> <div data-bbox="815 1496 1425 1899">  </div>	



3. CASTELLO DI GALEAZZA A CREVALCORE

<p>LUOGO: Crevalcore (BO) INDIRIZZO: Via Provanone, 8585a COORDINATE GEOGRAFICHE: Latitudine_44° 47' 50.57" Longitudine_ 11° 16' 41.48" DESTINAZIONE: in origine difensivo-militare e successivamente residenziale. USO ATTUALE: sede di associazioni e biblioteca. PROPRIETÀ: privata</p>	 <p>Fig. 1 – Planimetria del Castello di Galeazza, inserita nell'attuale contesto. In <i>bourdeaux</i> direzione sisma del 20 maggio, in rosa direzione scossa del 29 maggio</p>
<p>NOTIZIE STORICHE: il complesso è stato costruito in varie fasi. La parte più antica è costituita dalla torre, eretta alla fine del XIV secolo. La maggior parte del manufatto risale alla seconda metà del XIX sec. AUTORE: -</p>	<p>DESCRIZIONE: Il manufatto è costituito da vari corpi di fabbrica, disposti a doppia C. Verso Sud-Ovest il complesso termina con l'omonima torre.</p>
<p>ELEMENTI ARCHITETTONICI (PRIMARI) MASTIO: - TORRI MAESTRE: torre a pianta quadrangolare presente sullo spigolo Sud-Ovest del manufatto, più alta delle altre parti del complesso. TORRI PORTAIE: - COPERTURE: non accertabili in sede di sopralluogo. VOLTE: non accertabili in sede di sopralluogo. MURI A SCARPA: solo in corrispondenza della torre, per un'altezza molto ridotta rispetto quella del complesso. FOSSATI: -</p>	<p>ELEMENTI ARCHITETTONICI (SECONDARI) MERLI: presenti in corrispondenza della torre e di altre parti del complesso. Hanno profilo non rettilineo (merli ghibellini) e sono liberi. BECCATELLI: presenti lungo tutto il perimetro della torre. Ognuno di essi in prospetto termina con un arco trilobato.</p>
<p>MATERIALI (informazioni desunte da quanto rilevato durante i sopralluoghi effettuati <i>in loco</i>, non avendo la possibilità di avvicinarsi al fabbricato) PIETRA: - LATERIZIO: tutti gli elementi architettonici della rocca sono stati realizzati utilizzando laterizi in argilla cotti, messi in opera mediante malte di calce. LEGNO: -</p>	

TECNICHE COSTRUTTIVE (informazioni desunte da quanto rilevato durante i sopralluoghi effettuati *in loco*, non avendo la possibilità di avvicinarsi al fabbricato)

I paramenti murari esterni sono omogenei, a corsi regolari. La tessitura non sembra regolare. Non è possibile ricavare altre informazioni in quanto la Rocca, al momento dei sopralluoghi, era inagibile.

CINEMATISMI DI DANNO:

1 – *Meccanismi da taglio merlature*: merli torrione Sud-Ovest (si veda ABACO CINEMATISMI **G4**).

2 – *Meccanismi da degrado materico laterizi*: fessure passanti bancali (si veda ABACO CINEMATISMI **L2**).

INTERVENTI DI PRESIDIO POST SISMA 2012:

Gli apparecchi provvisori non sono stati messi in opera sebbene fossero necessari.

BIBLIOGRAFIA: -

SITOGRAFIA:

-<http://www.galeazza.com/it/>, ultima consultazione 03 Gennaio 2017.

ARCHIVI: -

RILIEVO FOTOGRAFICO



4. CASTELLO ESTENSE DI FERRARA

<p>LUOGO: Ferrara INDIRIZZO: Largo Castello COORDINATE GEOGRAFICHE: Latitudine_44° 50' 16.16" Longitudine_ 11° 37' 10.28" DESTINAZIONE: difensivo-militare e residenziale. USO ATTUALE: museo PROPRIETÀ: Comune di Ferrara</p>	 <p>Fig. 1 – Planimetria del Castello Estense, inserita nell'attuale contesto. In <i>bourdeaux</i> direzione sisma del 20 maggio, in rosa direzione scossa del 29 maggio</p>
<p>NOTIZIE STORICHE: Il complesso è stato costruito in diverse fasi. In origine consisteva in una torre di avvistamento di inizio XIII secolo, inserita lungo la cinta muraria della città. Successivamente le preesistenze vennero unite ad altre tre torri, disponendole a forma di quadrilatero, mediante corpi di fabbrica più bassi. A partire dal XVI sec. Il maniero fu trasformato pian piano in lussuosa residenza, partendo dai piani più alti. AUTORE: arch. Bartolino Ploti da Novara (parzialmente).</p>	<p>DESCRIZIONE: Il manufatto è costituito da vari corpi, disposti a forma di recinto chiuso, ciascun vertice è sormontato una torre a pianta quadrata.</p>
<p>ELEMENTI ARCHITETTONICI (PRIMARI) MASTIO: - TORRI MAESTRE: quattro torri, a pianta quadrangolare, presenti su ogni angolo del manufatto. Più alte rispetto la copertura del complesso. TORRI PORTAIE: - COPERTURE: in sede di sopralluogo non è stato possibile constatarne l'eventuale presenza e le caratteristiche. VOLTE: in sede di sopralluogo non è stato possibile constatarne l'eventuale presenza e le caratteristiche. MUR A SCARPA: presenti in tutti gli elementi. FOSSATI: seguono il perimetro della rocca e sono ancora oggi visibili. Sono presenti inoltre quattro ponti in muratura che permettono di oltrepassare le fosse.</p>	<p>ELEMENTI ARCHITETTONICI (SECONDARI) MERLI: - BECCATELLI: presenti nelle torri e solo in alcuni degli altri corpi. Ognuno di essi in prospetto termina con un arco a tutto sesto. LANTERNE E TORRETTE: presenti sopra ognuna delle quattro torri angolari.</p>

MATERIALI (informazioni desunte da quanto rilevato durante i sopralluoghi effettuati *in loco*, non avendo la possibilità di accedere all'interno del fabbricato stesso)

PIETRA: balaustre apparato a sporgere, cornicioni copertura, cordoli muri a scarpa ed alcuni elementi decorativi.

LATERIZIO: tutti gli elementi architettonici della rocca sono stati realizzati utilizzando laterizi in argilla cotti, messi in opera mediante malte di calce.

LEGNO: non riscontrati elementi lignei in sede di sopralluogo.

TECNICHE COSTRUTTIVE (informazioni desunte da quanto rilevato durante i sopralluoghi effettuati *in loco*, non avendo la possibilità di accedere all'interno del fabbricato stesso)

I paramenti murari esterni sono omogenei, a corsi regolari.

CINEMATISMI DI DANNO:

1 – *Ribaltamento fuori dal piano lanterne e torrette:* in corrispondenza delle lanterne Sud-Est e Nord-Est (si veda ABACO CINEMATISMI **B1**).

2 – *Meccanismi da taglio corpo principale:* nella facciata Sud-Ovest della torre Sud-Ovest (si veda ABACO CINEMATISMI **F2**).

INTERVENTI DI PRESIDIO POST SISMA 2012:

- Tavolato ligneo e trefoli in acciaio, messi in opera come se fossero delle cerchiature, in corrispondenza della balaustra in pietra del terrazzo Nord.

BIBLIOGRAFIA: -

SITOGRAFIA:

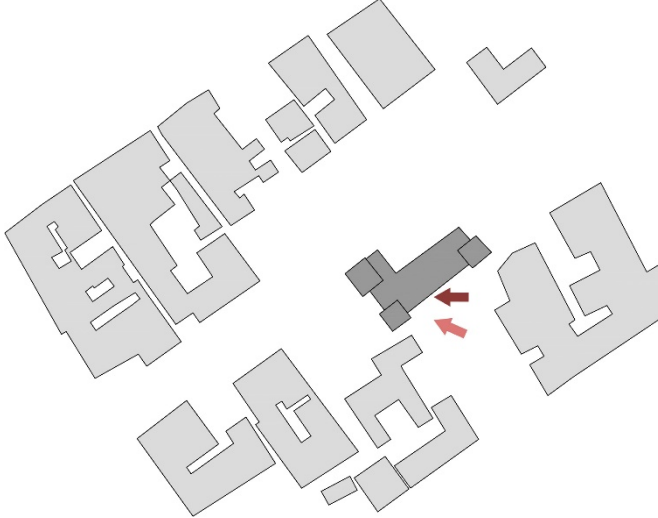
- <http://www.castelloestense.it/it/il-castello>, ultima consultazione 03 Gennaio 2017.

ARCHIVI: -

RILIEVO FOTOGRAFICO



5. CASTELLO DELLE ROCCHE DI FINALE EMILIA

<p>LUOGO: Finale Emilia (MO)</p> <p>INDIRIZZO: Piazza Antonio Gramsci, 2/A</p> <p>COORDINATE GEOGRAFICHE: Latitudine_44° 49' 58.88" Longitudine_ 11° 17' 49.17"</p> <p>DESTINAZIONE: difensivo-militare, residenziale e prigioniera.</p> <p>USO ATTUALE: polo culturale e sede del Museo Civico</p> <p>PROPRIETÀ: Comune di Finale Emilia</p>	 <p>Fig. 1 - Planimetria del Castello delle Rocche, inserita nell'attuale contesto. In <i>bourdeaux</i> direzione sisma del 20 maggio, in rosa direzione scossa del 29 maggio</p>
<p>NOTIZIE STORICHE: la Rocca attualmente visibile è frutto di varie fasi costruttive. La parte più antica è costituita dal mastio (o Torre dei Modenesi), eretto nel XIII sec. All'inizio del secolo successivo invece risale il primo nucleo fortificato. La Rocca a pianta poligonale, con torri angolari viene attribuita all'opera dell'arch. Bartolino da Novara (a partire dal 1402) e l'aggiunta successiva del portico sulla corte interna, risale al 1425, per opera dell'arch. Giovanni da Siena.</p> <p>AUTORE: Bartolino Ploti da Novara (rocca del 1402) e Giovanni da Siena (loggiati del 1425)</p>	<p>DESCRIZIONE: Il manufatto è costituito da più corpi, disposti a pianta poligonale. In ogni angolo del complesso, ad eccezione di quello a Nord-Est, sorge una torre angolare. Nella facciata Nord si erigeva il mastio (completamente distrutto dal sisma).</p>
<p>ELEMENTI ARCHITETTONICI (PRIMARI)</p> <p>MASTIO: presenta dimensioni sia in pianta che in alzato superiori alle altre torri. È situato a Nord del complesso.</p> <p>TORRI MAESTRE: torri a pianta quadrangolare, presenti su ciascun angolo del manufatto, ad eccezione di quello a Nord-Est. Più alte rispetto la copertura del complesso.</p> <p>TORRI PORTAIE: rivellino ubicato in mezzzeria della facciata Sud del maniero. Questo elemento è alto quanto il <i>palatium</i> Sud.</p> <p>COPERTURE: variano da porzione a porzione. In alcune parti sono costituite da manto di copertura in coppi, sorretto da struttura lignea, mentre in altre parti si hanno solai latero-cementizi.</p>	<p>ELEMENTI ARCHITETTONICI (SECONDARI)</p> <p>MERLI: il perimetro delle torri è coronato da merli con profilo non rettilineo (merli ghibellini), non liberi, in quanto costituiscono la base di appoggio per i pacchetti di copertura. Anche nel rivellino è presente la stessa tipologia di merli, ma in questo caso sono liberi. Merli con profilo non rettilineo, non liberi, sono presenti anche nel corpo addossato alla torre Nord-Ovest.</p> <p>BECCATELLI: presenti lungo tutto il perimetro delle torri, del rivellino e del corpo addossato alla torre Nord-Ovest. Ognuno di essi in prospetto termina con un arco trilobato.</p>

<p>VOLTE: in sede di sopralluogo è stato possibile accertare solo parzialmente i sistemi voltati, a causa dell'inagibilità del maniero. Dagli elaborati grafici emerge tuttavia la presenza di volte a botte.</p> <p>MURI A SCARPA: attualmente non presenti. Sono stati rilevati muri a piombo e lo studio delle proporzioni degli elementi lascia ipotizzare che in origine l'attacco a terra era costituito da muri a scarpa.</p> <p>FOSSATI: seguivano il perimetro della rocca, ma sono stati chiusi e oggi non sono più visibili, ad eccezione della particolare forma del terreno in corrispondenza della facciata Sud, che ne testimonia la passata esistenza.</p>	
<p>MATERIALI</p> <p>PIETRA: elementi decorativi.</p> <p>LATERIZIO: tutti gli elementi architettonici della rocca sono stati realizzati utilizzando laterizi in argilla cotti, messi in opera mediante malte di calce.</p> <p>LEGNO: in alcune porzioni del manufatto, utilizzato per le travi del solaio di copertura.</p>	
<p>TECNICHE COSTRUTTIVE</p> <p>I paramenti murari esterni sono omogenei, a corsi regolari. Anche la tessitura risulta abbastanza regolare. Dall'analisi delle creste murarie messe in evidenza in seguito ai crolli manifestatisi, è emerso che i muri possiedono spessori molto elevati e sono muri pieni, costituiti da vari livelli, tra loro affiancati e non ammassati.</p>	
<p>CINEMATISMI DI DANNO:</p> <p>1 – <i>Ribaltamento fuori dal piano apparato a sporgere:</i> in corrispondenza dei merli e dei beccatelli relativi alle torri Sud-Est e Sud-Ovest (si veda ABACO CINEMATISMI A2).</p> <p>2 – <i>Meccanismi da taglio merlature:</i> merli non liberi dei torrioni (si veda ABACO CINEMATISMI G2).</p> <p>3 – <i>Meccanismi da presenza pesanti cordoli o solette in C.A. "effetto seghetta":</i> interessano le parti sommitali delle torri, il mastio e il loggiato di Giovanni da Siena (si veda ABACO CINEMATISMI I2).</p>	
<p>INTERVENTI DI PRESIDIO POST SISMA 2012:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Puntelli e paraspigoli lignei, cerchiature e trefoli metallici, in corrispondenza delle parti sommitali del rivellino e delle merlature dei torrioni Sud-Est e Sud-Ovest. - Copertura in ondulina metallica, sorretta da una struttura anch'essa metallica, installate per evitare il progredire dei cinematismi di danno interessanti i reperti della torre Nord-Ovest, appoggiate sulle creste murarie preservatesi. 	
<p>BIBLIOGRAFIA:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Angelo S., Bertuzzi G., <i>Finale Emilia: popolo e castello</i>, Edizione Aedes Muratoriana, Modena 1985. - Belloi P., Colombini E., <i>Castelli della provincia di Modena</i>, Elis Colombini Editore, Modena 2001, pp. 188-195. - Calzolari M., Righini M., Tusini G.L., <i>Le rocche di Finale in età estense</i>, Baraldini, Finale Emilia (MO) 2009. - Gigli P., <i>La Rocca Estense di Finale Emilia</i>, C.A.R.C., Finale Emilia 1976. 	

- Righini M., *Per la mia Fè: castelli e arte militare in area estense tra Medioevo e Rinascimento: atti della giornata di studio, sabato 26 Settembre 2009, Finale Emilia, Palazzo Comunale, Gruppo Studi Bassa Modenese, San Felice sul Panaro (MO) 2010.*

- Righini M., *Le rocche e le fortificazioni di Finale Emilia e San Felice sul Panaro nel XV secolo*, in "Castellum", 2014, n. 55, pp. 17-26.

SITOGRAFIA:

- <http://www.comunefinale.net>, ultima consultazione 08 Giugno 2015.

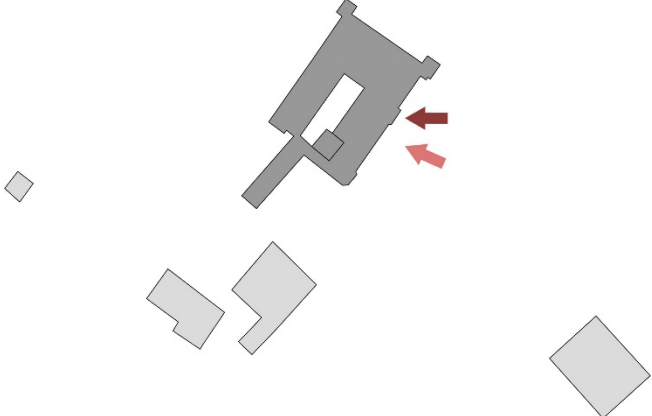
ARCHIVI:

- A.S.A.B.A.P. Bologna, Ferrara, Modena e Reggio Emilia, Rocca di Finale Emilia, anni 1896-2010.

RILIEVO FOTOGRAFICO

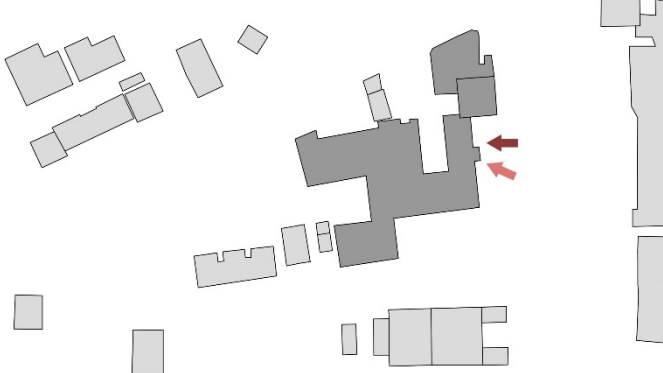


6. CASTELLO DEI MANZOLI A SAN MARTINO IN SOVERZANO

<p>LUOGO: Minerbio (BO)</p> <p>INDIRIZZO: Via San Donato, 58 – fraz. San Martino in Soverzano</p> <p>COORDINATE GEOGRAFICHE: Latitudine_44° 36' 43.72" Longitudine_ 11° 31' 22.10"</p> <p>DESTINAZIONE: esclusivamente residenziale, nonostante la presenza di elementi architettonici ricorrenti nelle strutture difensive.</p> <p>USO ATTUALE: -</p> <p>PROPRIETÀ: privata</p>	 <p>Fig. 1 – Planimetria del Castello dei Manzoli, inserita nell'attuale contesto. In <i>bordeaux</i> direzione sisma del 20 maggio, in <i>rosa</i> direzione scossa del 29 maggio</p>
<p>NOTIZIE STORICHE: Il complesso è stato costruito nel 1411, ma l'aspetto attuale va fatto risalire agli importanti interventi di restauro avvenuti nella seconda metà del XIX sec.</p> <p>AUTORE: Alfonso Rubbiani (per quanto riguarda il restauro del XIX sec.).</p>	<p>DESCRIZIONE: Il manufatto è a pianta rettangolare, con cortile interno. In ogni angolo sorge una torre difensiva. Inoltre è presente una quinta torre, collocata a guardia dell'ingresso (mediante ponte levatoio).</p>
<p>ELEMENTI ARCHITETTONICI (PRIMARI)</p> <p>MASTIO: torre a pianta quadrangolare posizionata a difesa dell'ingresso principale. Ha dimensioni planimetriche ed altezza superiori rispetto quelle delle torri angolari.</p> <p>TORRI MAESTRE: quattro torri, a pianta quadrangolare, presenti su ogni angolo del manufatto. Più alte rispetto la copertura del complesso.</p> <p>TORRI PORTAIE: -</p> <p>COPERTURE: in sede di sopralluogo non è stato possibile constatarne l'eventuale presenza e le caratteristiche.</p> <p>VOLTE: in sede di sopralluogo non è stato possibile constatarne l'eventuale presenza e le caratteristiche.</p> <p>MUR A SCARPA: presenti in tutti gli elementi.</p> <p>FOSSATI: seguono il perimetro della rocca e sono ancora oggi visibili. È presente inoltre un ponte in muratura che permette di oltrepassare il fossato.</p>	<p>ELEMENTI ARCHITETTONICI (SECONDARI)</p> <p>MERLI: formano il coronamento di tutti gli elementi architettonici principali che costituiscono il complesso. Hanno profilo non rettilineo (merli ghibellini) e sono liberi.</p> <p>BECCATELLI: presenti solo nelle torri, in prospettiva ognuno di essi termina con un arco a sesto acuto.</p> <p>TORRETTE: presente esclusivamente sopra la torre principale.</p>

<p>MATERIALI (alcune informazioni non sono rilevabili in quanto durante i sopralluoghi effettuati, non è stato possibile avvicinarsi sufficientemente ed accedere alla fabbrica storica)</p> <p><i>PIETRA:</i> -</p> <p><i>LATERIZIO:</i> tutti gli elementi architettonici del manufatto sono stati realizzati utilizzando laterizi in argilla cotti.</p> <p><i>LEGNO:</i> -</p>
<p>TECNICHE COSTRUTTIVE informazioni non desumibili in quanto durante i sopralluoghi effettuati, non è stato possibile avvicinarsi sufficientemente ed accedere alla fabbrica storica.</p>
<p>CINEMATISMI DI DANNO non presenti, secondo quanto rilevato durante i sopralluoghi effettuati, non avendo la possibilità di accedere all'interno del fabbricato stesso.</p>
<p>INTERVENTI DI PRESIDIO POST SISMA 2012: non messi in opera.</p>
<p>BIBLIOGRAFIA: -</p> <p>SITOGRAFIA:</p> <p>- http://www.comune.minerbio.bo.it/storia/pagina5.html, ultima consultazione 04 Gennaio 2017</p> <p>ARCHIVI: -</p>
<p>RILIEVO FOTOGRAFICO</p> <div data-bbox="196 1016 807 1422"> </div> <div data-bbox="812 1016 1423 1422"> </div>

7. CASTELLO DEI PICO A MIRANDOLA

<p>LUOGO: Mirandola (MO) INDIRIZZO: Piazza Castello COORDINATE GEOGRAFICHE: Latitudine_44° 53' 18.34" Longitudine_ 11° 3' 52.71" DESTINAZIONE: inizialmente difensivo-militare e successivamente residenziale. USO ATTUALE: spazio attrezzato per esibizioni temporanee e museo civico PROPRIETÀ: in parte Comune di Mirandola e in parte privati.</p>	 <p>Fig. 1 – Planimetria del Castello dei Pico, inserita nell'attuale contesto. In <i>bourdeaux</i> direzione sisma del 20 maggio, in rosa direzione scossa del 29 maggio</p>
<p>NOTIZIE STORICHE: il manufatto è stato costruito in diverse epoche. La parte più antica risale al X sec. Consistenti modifiche sono state realizzate fino il XIX sec. AUTORE: -</p>	<p>DESCRIZIONE: Il manufatto è costituito da più corpi, assemblati in pianta in maniera irregolare. Nella parte Nord-Est è stata costruita una torre.</p>
<p>ELEMENTI ARCHITETTONICI (PRIMARI) MASTIO: - TORRI MAESTRE: torre a pianta quadrangolare, nella parte Nord-Est del complesso storico. Più alta rispetto gli altri elementi architettonici del manufatto. TORRI PORTAIE: - COPERTURE: informazioni non rilevabili durante i sopralluoghi effettuati, in quanto il manufatto era inagibile. VOLTE: informazioni non rilevabili durante i sopralluoghi effettuati, in quanto il manufatto era inagibile. MURI A SCARPA: solo nel torrione si riscontrano muri a scarpa. FOSSATI: -</p>	<p>ELEMENTI ARCHITETTONICI (SECONDARI) MERLI: sono stati rilevati in corrispondenza della torre e della cinta muraria di Nord-Est. Presentano tutti profilo non lineare (merli ghibellini), i primi non sono liberi in quanto sostengono il pacchetto di copertura della torre, mentre i secondi sono liberi. BECCATELLI: presenti solo lungo il perimetro della torre. Ognuno di essi in prospetto termina con un arco a sesto acuto.</p>
<p>MATERIALI (informazioni desunte da quanto rilevato durante i sopralluoghi effettuati <i>in loco</i>, non avendo la possibilità di accedere all'interno del fabbricato stesso) PIETRA: alcuni elementi decorativi: colonne bifore, stemmi e rivestimento archi. LATERIZIO: tutti gli elementi architettonici della rocca sono stati realizzati utilizzando laterizi in argilla cotti, messi in opera mediante malte di calce. LEGNO: non rilevabile, non avendo la possibilità di accedere all'interno del fabbricato.</p>	

TECNICHE COSTRUTTIVE (informazioni desunte da quanto rilevato durante i sopralluoghi effettuati *in loco*, non avendo la possibilità di accedere all'interno del fabbricato inagibile)

I paramenti murari esterni sono omogenei, a corsi regolari. Anche la tessitura risulta abbastanza regolare. Non è possibile ricavare altre informazioni in quanto il complesso, al momento dei sopralluoghi, era inagibile.

CINEMATISMI DI DANNO:

1 – Flessione orizzontale di parete: fessurazione dei bancali, nelle parti comprese tra i merli e la parte sommitale dei beccatelli (si veda ABACO CINEMATISMI E3).

INTERVENTI DI PRESIDIO POST SISMA 2012:

- In corrispondenza di tutte le aperture e degli spazi in antichità occupati dalle ventiere, sono stati messi in opera puntelli ed intelaiature lignee.
- Nell'edificio e nella torre principale sono stati installati capochiave metallici per rafforzare l'azione della stessa tipologia di presidio messa in opera precedentemente agli eventi sismici. I capochiave sono collocati ad altezza del I e del II ordine nel palatium e del II e III ordine nella torre principale.

BIBLIOGRAFIA:

- Belloi P., Colombini E., *Castelli della provincia di Modena*, Elis Colombini Editore, Modena 2001, pp. 170-177.

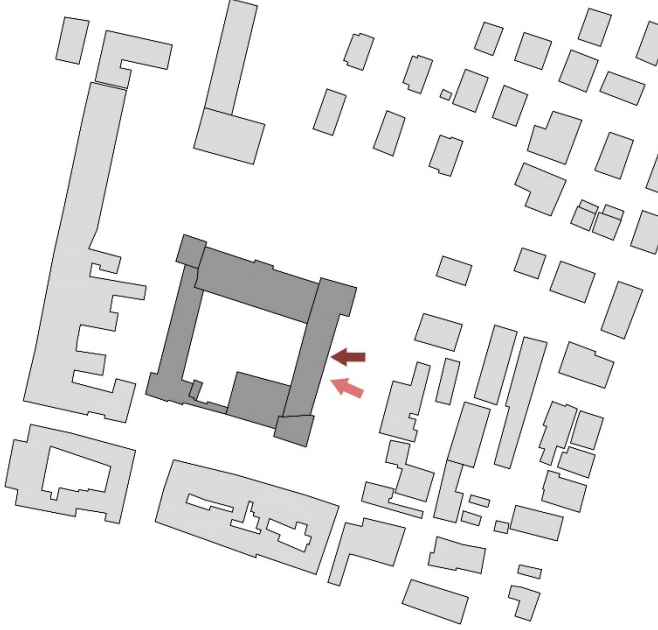
SITOGRAFIA: -

ARCHIVI: -

RILIEVO FOTOGRAFICO



8. ROCCA DEI GONZAGA A NOVELLARA

<p>LUOGO: Novellara (RE) INDIRIZZO: Piazza Marconi, 1 COORDINATE GEOGRAFICHE: Latitudine_44° 50' 40.2" Longitudine_ 10° 43' 51.68" DESTINAZIONE: inizialmente difensivo-militare e successivamente residenziale. USO ATTUALE: sede del Comune di Novellara e di alcuni servizi culturali: Museo Gonzaga, Teatro, Biblioteca e Archivio storico. PROPRIETÀ: Comune di Novellara.</p>	 <p>Fig. 1 – Planimetria della Rocca dei Gonzaga, inserita nell'attuale contesto. In <i>bourdeaux</i> direzione sisma del 20 maggio, in rosa direzione scossa del 29 maggio</p>
<p>NOTIZIE STORICHE: il manufatto è stato costruito e successivamente modificato, in periodi diversi. La parte più antica risale al XIV sec. Consistenti modifiche risalgono al XVI sec., quando da fabbrica difensiva iniziò a diventare residenza lussuosa. AUTORE: -</p>	<p>DESCRIZIONE: il manufatto è costituito da più corpi, assemblati in pianta in maniera poligonale. Descrivono al centro una corte interna.</p>
<p>ELEMENTI ARCHITETTONICI (PRIMARI) MASTIO: - TORRI MAESTRE: - TORRI PORTAIE: - COPERTURE: informazioni non rilevabili durante i sopralluoghi effettuati, in quanto il manufatto non era accessibile. VOLTE: informazioni non rilevabili durante i sopralluoghi effettuati, in quanto il manufatto non era accessibile. MURI A SCARPA: presenti in tutti i corpi. FOSSATI: -</p>	<p>ELEMENTI ARCHITETTONICI (SECONDARI) MERLI: sono stati rilevati in alcuni muri perimetrali degli edifici. Presentano tutti profilo non lineare (merli ghibellini). Non sono liberi in quanto inglobati nei maschi murari che sostengono il pacchetto di copertura. BECCATELLI: presenti solo lungo gli edifici non ad angolo. Per gli elementi ad oggi ben conservati è possibile vedere prospetti che terminano con archi a sesto ribassato.</p>
<p>MATERIALI (informazioni desunte da quanto rilevato durante i sopralluoghi effettuati <i>in loco</i>, non avendo la possibilità di accedere all'interno del fabbricato stesso)</p>	

PIETRA: -

LATERIZIO: tutti gli elementi architettonici della rocca sono stati realizzati utilizzando laterizi in argilla cotti, messi in opera mediante malte di calce.

LEGNO: non rilevabile, non avendo la possibilità di accedere all'interno del fabbricato.

TECNICHE COSTRUTTIVE (informazioni desunte da quanto rilevato durante i sopralluoghi effettuati *in loco*, non avendo la possibilità di accedere all'interno del fabbricato inagibile)

I paramenti murari esterni sono omogenei, a corsi regolari, con tessitura più o meno regolare, a seconda degli elementi architettonici presi in considerazione. Non è possibile ricavare altre informazioni in quanto il complesso, al momento dei sopralluoghi, era inagibile.

CINEMATISMI DI DANNO:

1 – *Meccanismi da taglio corpo principale:* torre portaia Sud, facciata Est; edificio, facciate Sud ed Est (si veda ABACO CINEMATISMI **F1**).

2 – *Meccanismi da cattivo ammorsamento torri-mura di cinta:* torre portaia ed edificio Nord - Ovest (si veda ABACO CINEMATISMI **H2**).

3 – *Meccanismi da degrado materico laterizi:* facciata Est dell'edificio (si veda ABACO CINEMATISMI **L1**).

4 – *Cedimento fondale ponte:* ponte ubicato verso Sud-Ovest (si veda ABACO CINEMATISMI **M1**).

INTERVENTI DI PRESIDIO POST SISMA 2012:

- Le aperture del primo ordine della torretta che sormonta la porta di accesso, sono state messe in sicurezza mediante intelaiature lignee.

BIBLIOGRAFIA: -

SITOGRAFIA:

- <http://www.comunedinovellara.gov.it>, ultima consultazione 05 Gennaio 2017.

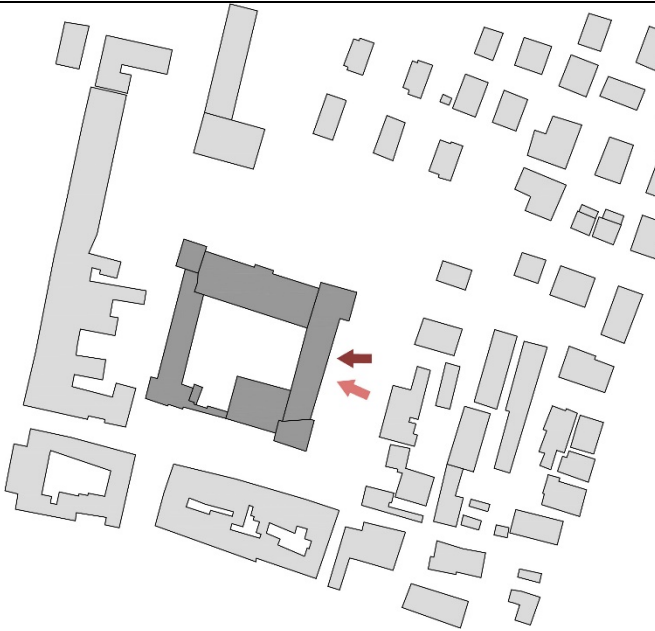
ARCHIVI: -

RILIEVO FOTOGRAFICO





9. CASTELLO DEI LAMBERTINI A POGGIO RENATICO

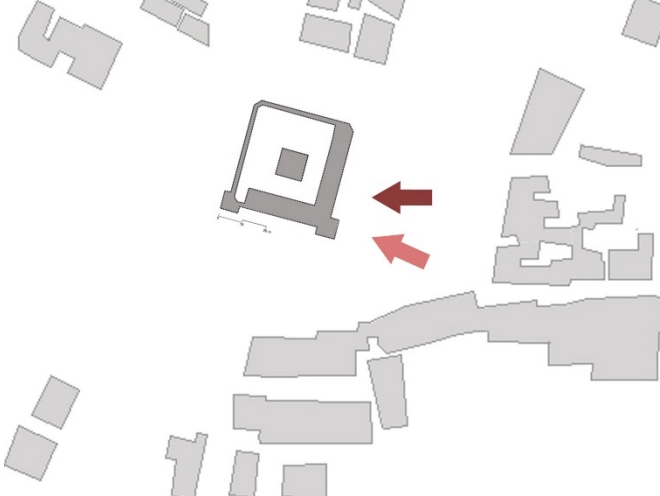
<p>LUOGO: Poggio Renatico (FE) INDIRIZZO: Piazza Castello, 1 COORDINATE GEOGRAFICHE: Latitudine_44° 45' 46.16" Longitudine_ 11° 28' 53.56" DESTINAZIONE: inizialmente difensivo-militare e successivamente residenziale. USO ATTUALE: sede del Comune di Poggio Renatico. PROPRIETÀ: Comune di Poggio Renatico.</p>	 <p>Fig. 1 – Planimetria del Castello dei Lambertini, inserita nell'attuale contesto. In <i>bourdeaux</i> direzione sisma del 20 maggio, in rosa direzione scossa del 29 maggio</p>
<p>NOTIZIE STORICHE: il manufatto è stato costruito e poi modificato in periodi diversi. Nato su un'antica struttura difensiva medioevale, subì consistenti modifiche durante il XVI sec., quando da fabbrica difensiva iniziò a diventare residenza lussuosa. Intorno al 1660 venne pressoché rifatto completamente e verso la fine del XIX sec. fu aggiunta una nuova cortina muraria verso Nord. L'immagine attuale del complesso è frutto del profondo e risolutivo restauro avvenuto nel 1897. AUTORE: - Ruggero Carini (per quanto riguarda il restauro del XIX sec.).</p>	<p>DESCRIZIONE: il manufatto è costituito da più corpi, assemblati in pianta in maniera poligonale. Descrivono al centro una corte interna.</p>

<p>ELEMENTI ARCHITETTONICI (PRIMARI) MASTIO: - TORRI MAESTRE: - TORRI PORTAIE: <i>Torre dell'Orologio</i> (Torre Ovest) COPERTURE: informazioni non rilevabili durante i sopralluoghi effettuati, in quanto il manufatto non era accessibile. VOLTE: informazioni non rilevabili durante i sopralluoghi effettuati, in quanto il manufatto non era accessibile. MURI A SCARPA: presenti solo nella <i>Torre dell'Orologio</i>. FOSSA: -</p>	<p>ELEMENTI ARCHITETTONICI (SECONDARI) MERLI: presenti nella situazione ante-sisma solo nella <i>Torre dell'Orologio</i>. Presentano tutti profilo non lineare (merli ghibellini). Sono liberi. BECCATELLI: rilevabili nella situazione ante-sisma solo nella <i>Torre dell'Orologio</i>. Presentavano prospetti ad arco a sesto ribassato.</p>
<p>MATERIALI (informazioni desunte da quanto rilevato durante i sopralluoghi effettuati <i>in loco</i>, non avendo la possibilità di accedere all'interno del fabbricato stesso) PIETRA: - LATERIZIO: tutti gli elementi architettonici della rocca sono stati realizzati utilizzando laterizi in argilla cotti, messi in opera mediante malte di calce. LEGNO: non rilevabile, non avendo la possibilità di accedere all'interno del fabbricato.</p>	
<p>TECNICHE COSTRUTTIVE (informazioni desunte da quanto rilevato durante i sopralluoghi effettuati <i>in loco</i>, non avendo la possibilità di accedere all'interno del fabbricato inagibile) I paramenti murari esterni sono omogenei, a corsi regolari, con tessitura regolare. Secondo le sezioni murarie messe in evidenza dai crolli causati dagli eventi sismici, i paramenti sono pieni, ma le cortine murarie adiacenti non sono ben ammorsate fra loro.</p>	
<p>CINEMATISMI DI DANNO: 1 – <i>Ribaltamento composto fuori dal piano corpo principale:</i> Torre Ovest, o <i>Torre dell'Orologio</i>, e coperture elementi architettonici ad essa adiacenti (si veda ABACO CINEMATISMI D3).</p>	
<p>INTERVENTI DI PRESIDIO POST SISMA 2012: - I reperti della <i>Torre dell'Orologio</i> sono stati messi al riparo mediante una copertura costituita da onduline metalliche, sorretta da una struttura lignea.</p>	
<p>BIBLIOGRAFIA: - SITOGRAFIA: - http://www.comune.poggioresenatico.fe.it, ultima consultazione 05 Gennaio 2017. ARCHIVI: -</p>	

RILIEVO FOTOGRAFICO



10. ROCCA DI REGGIOLO

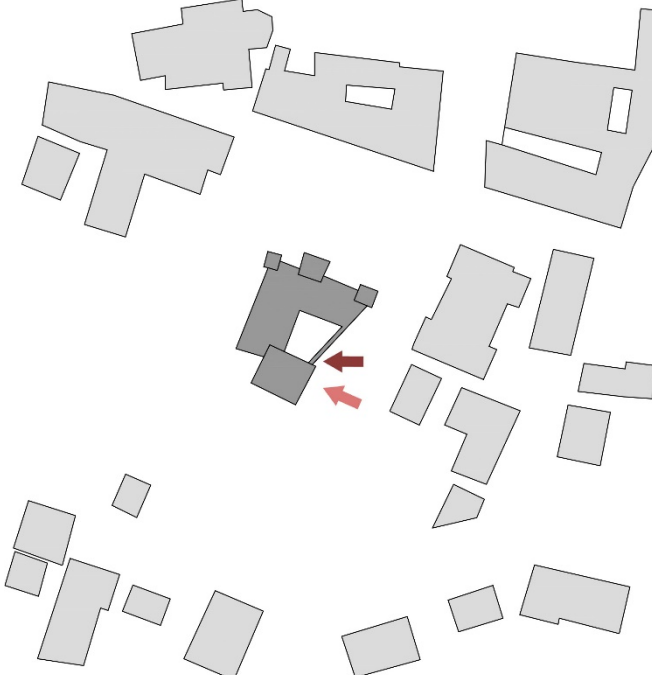
<p>LUOGO: Reggiolo (RE) INDIRIZZO: Via IV Novembre, 1 COORDINATE GEOGRAFICHE: Latitudine_44° 91' 79.76" Longitudine_ 10° 80' 57.48" DESTINAZIONE: difensivo-militare. Mai utilizzata come residenza. USO ATTUALE: - PROPRIETÀ: Comune di Reggiolo</p>	 <p>Fig. 1 – Planimetria della Rocca di Reggiolo, inserita nell'attuale contesto. In <i>bourdeaux</i> direzione sisma del 20 maggio, in rosa direzione scossa del 29 maggio</p>
<p>NOTIZIE STORICHE: Il nucleo originario della ROCCA DI REGGIOLO è costituito dalla torre centrale risalente al 1242. L'aspetto attuale coincide sommariamente con quello che il manufatto acquisì durante il XIV sec., per opera dei Gonzaga di Mantova. Risalgono infatti a questo periodo sia il muro di cinta, sia le quattro torri angolari. AUTORE: -</p>	<p>DESCRIZIONE: Il manufatto è costituito da un mastio centrale, circondato da un recinto murario quadrangolare. Le mura perimetrali presentano quattro torri angolari, le due verso Sud sono sporgenti rispetto la cerchia muraria. È presente anche una finta torre portaia, in corrispondenza della mezzeria del prospetto Sud, simbolo dell'accesso principale della fortezza.</p>
<p>ELEMENTI ARCHITETTONICI (PRIMARI) MASTIO: pianta quadrangolare, di circa 11,5 m di lato, altezza pari a 36 m. Edificato totalmente in laterizio, la muratura è molto massiccia: si passa da uno spessore di 2,30 m alla base a 1,80 nella parte sommitale. TORRI MAESTRE: torri angolari presenti sul lato sud del manufatto. Sporgenti rispetto la cerchia muraria e più alte di quest'ultima. Quella di S-E è "compresa" tra due corpi di fabbrica, mentre quella di S-O è ammorsata alle mura di cinta. TORRI PORTAIE: torre a filo delle mura di cinta, eretta in corrispondenza dell'accesso principale (lato Sud del manufatto). Stessa altezza delle torri angolari. parte centrale, sia nella cerchia muraria che nelle torri. Non è presente alcuna tipologia di scarpa. COPERTURE: -</p>	<p>ELEMENTI ARCHITETTONICI (SECONDARI) MERLI: guelfi, con rapporto b\h circa pari a due, presenti lungo tutta la cinta muraria, sulla sommità delle torri angolari e del mastio, totalmente in laterizio. BECCATELLI: -</p>

<p>VOLTE: -</p> <p>MURI A SCARPA: non presenti. L'attacco a terra è lineare, a piombo.</p> <p>FOSSATI: edificate a protezione della facciata Nord, oggi non più visibili poiché sono state chiuse nel tempo.</p>	
<p>MATERIALI</p> <p>PIETRA: -</p> <p>LATERIZIO: tutti gli elementi architettonici della rocca sono stati realizzati utilizzando laterizi in argilla cotti, messi in opera mediante malte di calce.</p> <p>LEGNO: informazioni non accertabili</p>	
<p>TECNICHE COSTRUTTIVE</p> <p>Gli spessori murari e l'assottigliarsi delle sezioni verso la sommità della fortificazione, fanno intuire che le murature sono a sacco, probabilmente i nuclei sono costituiti da materiali di risulta, ben costipati. I paramenti murari sono omogenei, a corsi regolari. La tessitura invece non è regolare: l'alternanza variabile tra laterizi disposti per coltello e per fascia lascia intuire ancora il riutilizzo di materiali di scarto. I paramenti sono costellati da buche pontae, verticalmente allineate e disposte orizzontalmente ad intervalli regolari.</p> <p>I paramenti murari non risultano ben ammorsati lungo i vertici presenti tra mura di cinta e torri maestre.</p>	
<p>CINEMATISMI DI DANNO:</p> <p>1 – <i>Ribaltamento fuori dal piano apparato a sporgere:</i> parti sommitali torri Nord-Est e Nord-Ovest (si veda ABACO CINEMATISMI A3).</p> <p>2 – <i>Meccanismi da cattivo ammorsamento torri-mura di cinta:</i> torre Sud-Ovest e cinta muraria (si veda ABACO CINEMATISMI H3).</p>	
<p>INTERVENTI DI PRESIDIO POST SISMA 2012:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tiranti metallici e telai lignei in corrispondenza delle parti sommitali delle torri N-E e N-O, per evitare il progredire del cinematismo n 2; - Portali lignei agli ingressi del manufatto, per evitare il collasso delle murature in corrispondenza di questi ultimi. 	
<p>BIBLIOGRAFIA:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Canova F., Reggiolo. <i>La storia. I parte</i>, Amministrazione Comunale di Reggiolo, Reggiolo 1980. - Canova F., Reggiolo. <i>La storia. II parte</i>, Amministrazione Comunale di Reggiolo, Reggiolo 1980. <p>SITOGRAFIA:</p> <ul style="list-style-type: none"> - http://www.comune.reggiolo.re.it, ultima consultazione 08 Giugno 2015. <p>ARCHIVI:</p> <ul style="list-style-type: none"> - A.S.A.B.A.P. Bologna, Ferrara, Modena e Reggio Emilia, Rocca di Reggiolo, anni 1976-2004. 	

RILIEVO FOTOGRAFICO



11. ROCCA ESTENSE DI SAN FELICE SUL PANARO

<p>LUOGO: San Felice sul Panaro (MO) INDIRIZZO: Viale G. Campi, 31 COORDINATE GEOGRAFICHE: Latitudine_44° 50' 20.29" Longitudine_ 11° 8' 32.97" DESTINAZIONE: difensivo-militare. Mai utilizzata come residenza. USO ATTUALE: sede culturale e istituzionale PROPRIETÀ: Comune di San Felice sul Panaro</p>	 <p>Fig. 1 – Planimetria della Rocca Estense, inserita nell'attuale contesto. In <i>bordeaux</i> direzione sisma del 20 maggio, in <i>rosa</i> direzione scossa del 29 maggio</p>
<p>NOTIZIE STORICHE: il complesso è costituito da vari elementi, costruiti in epoche differenti. La parte più antica risale al XIV sec. ed è formata dal mastio e dalla cinta muraria. Tra la fine del XIV sec. e l'inizio del XV sec. sono state costruite tutte le torri presenti e gli altri corpi di fabbrica. Risalgono invece al XX sec. i corpi scala presenti. AUTORE: -</p>	<p>DESCRIZIONE: Il manufatto è costituito da più corpi, disposti a pianta poligonale. In corrispondenza della facciata Nord, si ergono tre torri: due angolari e quella centrale portaia. Il mastio occupa invece l'angolo Sud-Est del manufatto. Gli elementi architettonici presenti formano una piccola corte interna.</p>
<p>ELEMENTI ARCHITETTONICI (PRIMARI) MASTIO: presenta dimensioni sia in pianta che in alzato superiori alle altre torri. È situato a Sud-Est del complesso. TORRI MAESTRE: torri angolari che occupano i due angoli della facciata Nord. Più alte rispetto la copertura del complesso, ma con altezza inferiore rispetto il mastio e la torre portaia. TORRI PORTAIE: occupa parte della facciata Nord del manufatto, presenta la stessa altezza delle torri angolari, ma planimetricamente ha dimensioni superiori. COPERTURE: secondo quanto accertabile dai sopralluoghi effettuati, manto di copertura in</p>	<p>ELEMENTI ARCHITETTONICI (SECONDARI) MERLI: rimangono esclusivamente nel mastio. Non hanno profilo rettilineo (merli ghibellini) e sorreggono il pacchetto di copertura. BECCATELLI: presenti lungo tutto il perimetro del mastio e nella facciata Nord. Ognuno di essi in prospetto termina con un arco.</p>

<p>coppi, sorretto da struttura lignea e presenza di cordolo in C.A.</p> <p><i>VOLTE</i>: non accertabili in sede di sopralluogo, a causa dell'inagibilità di tutta la fortificazione. Presenza di strutture voltate accertata dagli elaborati grafici ricevuti.</p> <p><i>MURI A SCARPA</i>: rilevati in tutte le torri presenti, ad eccezione della torre portaia, nella quale l'attacco a terra è costituito da muri perfettamente a piombo.</p> <p><i>FOSSATI</i>: chiusi in antichità e parzialmente riaperti nel corso del XX sec.</p>	
<p>MATERIALI</p> <p><i>PIETRA</i>: -</p> <p><i>LATERIZIO</i>: tutti gli elementi architettonici della rocca sono stati realizzati utilizzando laterizi in argilla cotti, messi in opera mediante malte di calce.</p> <p><i>LEGNO</i>: solaio di copertura a doppia orditura.</p>	
<p>TECNICHE COSTRUTTIVE</p> <p>I paramenti murari esterni sono omogenei, a corsi regolari. Anche la tessitura risulta abbastanza regolare. Dall'analisi degli spaccati murari messi in evidenza in seguito ai crolli manifestatisi, è emerso che i muri possiedono spessori elevati e sono muri pieni, costituiti da vari livelli, affiancati e spesso non ben ammorsati. Non è possibile ricavare informazioni aggiuntive in quanto la Rocca, al momento dei sopralluoghi, era inagibile.</p>	
<p>CINEMATISMI DI DANNO:</p> <p>1 – <i>Ribaltamento fuori dal piano con cerniera cilindrica</i>: lesioni orizzontali in corrispondenza della parte di spicco dei beccatelli dell'edificio a Nord (si veda ABACO CINEMATISMI C1).</p> <p>2 – <i>Ribaltamento composto fuori dal piano corpo principale</i>: mastio (si veda ABACO CINEMATISMI D1).</p> <p>3 – <i>Meccanismo da taglio merlature</i>: mastio, unica torre con parte sommitale che non ha subito crolli (si veda ABACO CINEMATISMI G1).</p> <p>4 – <i>Meccanismi da cattivo ammorsamento torri-mura di cinta</i>:: in corrispondenza della torre Nord-Est e delle mura di cinta (si veda ABACO CINEMATISMI H1).</p> <p>5 – <i>Meccanismi da presenza pesanti cordoli o solette in C.A. "effetto seghetta"</i>: sgretolamento manifestatosi in corrispondenza del lato Est della torre Nord (si veda ABACO CINEMATISMI I1).</p>	
<p>INTERVENTI DI PRESIDIO POST SISMA 2012:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cerchiature e trefoli metallici in corrispondenza delle parti sommitali del mastio, all'altezza del punto di stacco dei beccatelli ed a mezz'altezza dei merli. - Capochiave metallici, nella parte media del mastio. - Le aperture collocate in corrispondenza della parte basamentale del mastio, sono state preservate mediante puntelli lignei. - Nella parte superiore del mastio, è stata montata in opera una rete parasassi, per evitare la caduta a terra di macerie. - Le parti sommitali delle tre torri che occupano la parte Nord del complesso, sono state coperte da teli plastificati. - Le lesioni manifestatesi nella parte principale del mastio, sono state riempite con malta. - Trefoli metallici inseriti nel mastio e in tutte le torri. 	

- Trefoli metallici iniettati nelle murature.

BIBLIOGRAFIA:

- Calzolari M., Campagnoli P., Frison C., a cura di, *La rocca estense di San Felice sul Panaro*, Gruppo Bassa Modenese, San Felice sul Panaro (MO) 1994.
- Costa Giani P., *Memorie storiche di San Felice sul Panaro*, Banca Popolare di San Felice sul Panaro, Modena 1978.
- Gulinelli V., *Il Castello di San Felice sul Panaro e le fosse del castello: da ricerche d'archivio*, notizie urbanistiche, storiche e di cronaca, LI.PE., San Giovanni in Persiceto (BO) 1994.
- Poletti M., a cura di, *Le cartoline di San Felice sul Panaro*, Gruppo Studi Bassa Modenese, San Felice sul Panaro (MO) 2005.
- Coisson E., Ferrari L., Ferretti D., Rozzi M., *Non-smooth dynamic analysis of local seismic damage mechanisms of the San Felice Fortress in Northern Italy*, in "Procedia Engineering", 2016, 161, pp. 451-454, 457.

SITOGRAFIA:

- http://tecnico.comunesanfelice.net/poc/doc_geo/poc1_2.pdf, ultima consultazione 14 Febbraio 2015.
- <http://www.comunesanfelice.net/>, ultima consultazione 08 Giugno 2015.

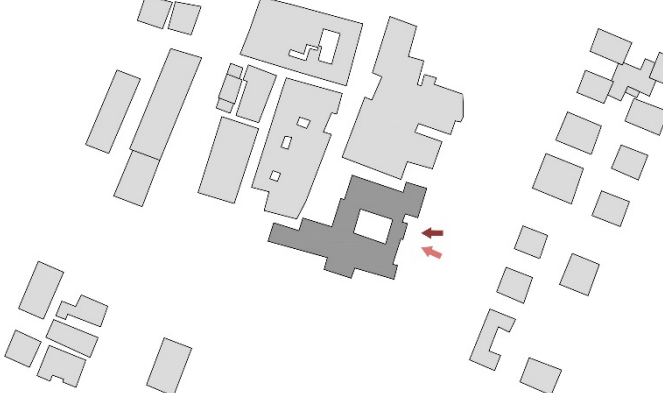
ARCHIVI:

- A.S.A.B.A.P. Bologna, Ferrara, Modena e Reggio Emilia, Rocca di San Felice sul Panaro, anni 1960-2005.

RILIEVO FOTOGRAFICO



12. CASTELLO DEI PIO O CASTELLO CAMPORI A SOLIERA

<p>LUOGO: Soliera (MO) INDIRIZZO: Piazza Sassi, 2 COORDINATE GEOGRAFICHE: Latitudine_44° 44' 17.97" Longitudine_ 10° 55' 29.22" DESTINAZIONE: difensivo-militare. Mai utilizzata come residenza. USO ATTUALE: sede del Comune di Soliera PROPRIETÀ: Comune di Soliera</p>	 <p>Fig. 1 – Planimetria del Castello dei Pio, inserita nell'attuale contesto. In <i>bordeaux</i> direzione sisma del 20 maggio, in <i>rosa</i> direzione scossa del 29 maggio</p>
<p>NOTIZIE STORICHE: costruito nel XII sec., con scopo difensivo, fu trasformato nel XVI e nel XVII sec. in residenza lussuosa. Gli edifici adiacenti, di ampliamento, risalgono al XIII sec. AUTORE: -</p>	<p>DESCRIZIONE: il manufatto è costituito da vari corpi, disposti a forma poligonale, irregolare. Sul lato Sud, i due elementi angolari sono sormontati da torrette e lanterne.</p>
<p>ELEMENTI ARCHITETTONICI (PRIMARI) MASTIO: - TORRI MAESTRE: una che sorge a Sud-Est del complesso, è sormontata da lanterna e torretta. TORRI PORTAIE: una che sorge a Sud-Ovest del complesso, è sormontata da lanterna e torretta. COPERTURE: informazioni non rilevabili durante i sopralluoghi effettuati, in quanto il manufatto non era accessibile. VOLTE: informazioni non rilevabili durante i sopralluoghi effettuati, in quanto il manufatto non era accessibile. MURI A SCARPA: presenti in tutti gli elementi. FOSSATI: ad oggi non rilevabili, ma la conformazione del sito ne lascia ipotizzare la passata presenza.</p>	<p>ELEMENTI ARCHITETTONICI (SECONDARI) MERLI: sono presenti solo in corrispondenza della torretta Sud-Ovest, hanno profilo non rettilineo (merli ghibellini), sono stati inglobati nei maschi murari che sostengono la copertura. BECCATELLI: presenti lungo tutto il perimetro della torre Sud-Est e in parte della facciata Sud del complesso. Ognuno di essi in prospetto termina con un arco a sesto ribassato.</p>
<p>MATERIALI (informazioni desunte da quanto rilevato durante i sopralluoghi effettuati <i>in loco</i>, non avendo la possibilità di accedere all'interno dell'intero fabbricato) PIETRA: elementi decorativi appartenenti ai cornicioni di alcuni degli elementi architettonici principali.</p>	

LATERIZIO: tutti gli elementi architettonici della rocca sono stati realizzati utilizzando laterizi in argilla cotti, messi in opera mediante malte di calce.

LEGNO: non rilevabile in sede di sopralluogo.

TECNICHE COSTRUTTIVE (informazioni desunte da quanto rilevato durante i sopralluoghi effettuati *in loco*, non avendo la possibilità di accedere all'interno dell'intero fabbricato)
I paramenti murari esterni sono omogenei, a corsi regolari. Anche la tessitura risulta abbastanza regolare.

CINEMATISMI DI DANNO:

1 – *Ribaltamento fuori dal piano lanterne e torrette:* in tutte le lanterne presenti (si veda ABACO CINEMATISMI **B2**).

2 – *Meccanismi da taglio merlature:* tamponature delle merlature dei torrioni (si veda ABACO CINEMATISMI **G3**).

INTERVENTI DI PRESIDIO POST SISMA 2012:

- Trefoli metallici messi in opera come cerchiature, con angolari lignei per preservare gli spigoli, scongiurano eventuali cinematismi di danno in corrispondenza delle lanterne che sormontano entrambi i torrioni appartenenti al manufatto.
- Capochiave, paraspigoli e cerchiature, tutti metallici, scongiurano il ribaltamento delle parti sommitali dei torrioni.

BIBLIOGRAFIA:

- Belloi P., Colombini E., *Castelli della provincia di Modena*, Elis Colombini Editore, Modena 2001, pp. 152-157.

SITOGRAFIA:

- <http://www.emiliaromagna.beniculturali.it>, ultima consultazione 05 Gennaio 2017.

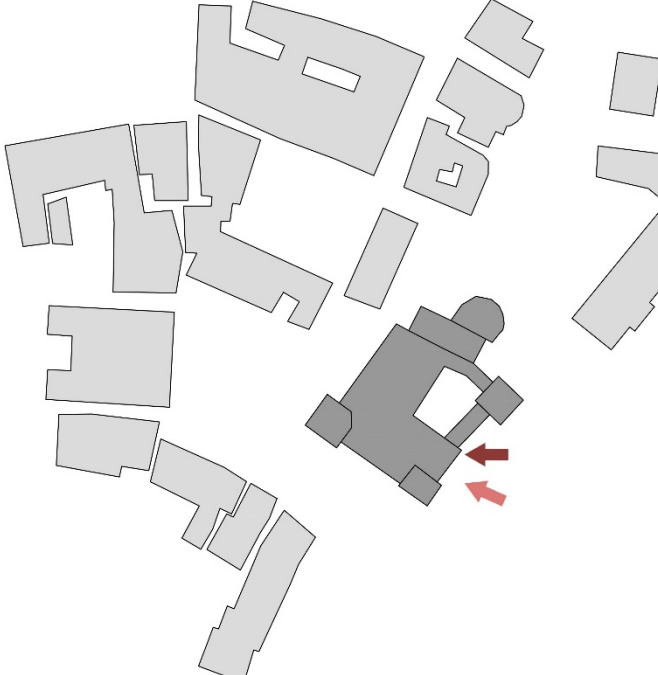
ARCHIVI: -



RILIEVO FOTOGRAFICO





13. ROCCA DI VIGNOLA

<p>LUOGO: Vignola (MO) INDIRIZZO: Piazza dei Contrari, 4 COORDINATE GEOGRAFICHE: Latitudine_44° 28' 35.48" Longitudine_ 11° 0' 37.22" DESTINAZIONE: difensivo-militare. A partire dal XV sec. residenziale. Utilizzata come prigione nella seconda metà del XX sec. USO ATTUALE: museo di sé stessa, laboratori didattici, centro congressi, ecc. PROPRIETÀ: Fondazione di Vignola</p>	 <p>Fig. 1 - Planimetria della Rocca di Vignola, inserita nell'attuale contesto. In <i>bourdeaux</i> direzione sisma del 20 maggio, in rosa direzione scossa del 29 maggio</p>
<p>NOTIZIE STORICHE: la Rocca a pianta irregolare attualmente visibile, è frutto di più fasi costruttive. Il nucleo più antico risale al VIII sec. Importanti modifiche costruttive si sono susseguite fino al XVI sec. AUTORE: -</p>	<p>DESCRIZIONE: Il manufatto è costituito dall'assemblaggio irregolare di vari corpi. Il recinto murario, costruito da edifici e cortine murarie, è completato a Nord da una roccetta a pianta semicircolare e agli angoli Sud-Ovest, Sud-Est e Nord-Est da torri a pianta quadrangolare.</p>
<p>ELEMENTI ARCHITETTONICI (PRIMARI) MASTIO: - TORRI MAESTRE: torri a pianta quadrangolare presenti agli angoli Sud-Est, Sud-Ovest e Nord-Est del manufatto. Più alte rispetto la copertura del complesso. TORRI PORTAIE: - COPERTURE: secondo quanto accertabile dai sopralluoghi effettuati, manto di copertura in coppi, sorretto da struttura lignea. VOLTE: in sede di sopralluogo è stato possibile rilevare la presenza di sistemi voltati, realizzati utilizzando laterizi. MURI A SCARPA: hanno inclinazione variabile secondo il tipo di elemento architettonico di appartenenza. FOSSATI: oggi non più visibili, la conformazione del terreno in alcuni punti ne lascia intuire la preesistenza.</p>	<p>ELEMENTI ARCHITETTONICI (SECONDARI) MERLI: perimetrano completamente le torri. Hanno profilo non rettilineo (merli ghibellini) e sostengono la copertura. BECCATELLI: presenti lungo tutto il perimetro delle torri e della maggior parte degli altri corpi presenti. Ognuno di essi in prospetto termina con un arco a tutto sesto.</p>

<p>MATERIALI</p> <p><i>PIETRA</i>: in tutti i macroelementi la pietra è stata utilizzata insieme ai laterizi. Solamente la parete Nord del loggiato ubicato in zona Ovest è costituita in toto da pietrame di origine fluviale.</p> <p><i>LATERIZIO</i>: tutti gli elementi architettonici della rocca sono stati realizzati utilizzando laterizi in argilla cotti e pietre di origine fluviale, messi in opera mediante malte di calce.</p> <p><i>LEGNO</i>: utilizzato nei pacchetti di copertura di torrioni, camminamenti di ronda ed edifici.</p>	
<p>TECNICHE COSTRUTTIVE I paramenti murari esterni sono stati costruiti utilizzando materiali diversi, non sono omogenei e variano spesso anche all'interno di uno stesso elemento architettonico. Le caratteristiche dei corsi e la tessitura pertanto hanno proprietà diverse secondo la porzione presa in esame.</p>	
<p>CINEMATISMI DI DANNO:</p> <p>1 – <i>Ribaltamento fuori dal piano apparato a sporgere</i>: in corrispondenza della parte sommitale della porzione Sud-Ovest (si veda ABACO CINEMATISMI A1).</p> <p>2 – <i>Flessione orizzontale di parete</i>: in corrispondenza della torre Nord-Est o <i>Torre Nonantolana</i> (si veda ABACO CINEMATISMI E1).</p>	
<p>INTERVENTI DI PRESIDIO POST SISMA 2012:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Puntelli metallici in corrispondenza delle aperture e cerchiature (trefoli in acciaio), delle parti sommitali delle torri Sud-Ovest e Nord-Est. 	
<p>BIBLIOGRAFIA:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Romani G., Vicini M., <i>La Rocca di Vignola</i>, Fondazione di Vignola, Vignola (MO) 2001. - Tiraboschi G., <i>Memorie storiche modenese</i>, Società Tipografica, Modena 1793. - Mantovi F., Guida alle rocche ed ai castelli della provincia di Modena, Cooptip, Modena 1969, pp. 72-81. <p>SITOGRAFIA: -</p> <p>ARCHIVI:</p> <ul style="list-style-type: none"> - A.S.A.B.A.P. Bologna, Ferrara, Modena e Reggio Emilia, Rocca di Vignola, anni 1932-2005. 	
<p>RILIEVO FOTOGRAFICO</p> <div>   </div>	



2.6 Individuazione dei casi di studio

Dopo aver indagato i tredici manufatti fortificati, si è proceduto a selezionarne un numero limitato, da studiare più approfonditamente, attraverso la loro suddivisione in gruppi omogenei, avendo come fonte di informazione i dati raccolti ed elaborati nelle schede di rilevamento.

Per classificare gli esemplari scelti in gruppi omogenei, sono state tenute in considerazione: le caratteristiche morfologico-costruttive e la destinazione d'uso (figg.102-103-104-105).

Inoltre la maggior parte degli elementi architettonici attualmente constatabili nei casi di studio selezionati attraverso i criteri appena esposti, sono ascrivibili all'arco temporale compreso tra la fine del XIV e l'inizio del XV sec.

I cinque casi di approfondimento selezionati mediante questi criteri sono:

- *Rocca di Vignola*, Vignola (MO);
- *Rocca Estense di San Felice sul Panaro*, San Felice sul Panaro (MO);
- *Castello delle Rocche*, Finale Emilia (MO);
- *Rocca di Cento*, Cento (MO);
- *Rocca di Reggiolo*, Reggiolo (RE).

Obiettivo di questa macro catalogazione è stata l'individuazione, tra le strutture analizzate, delle rocche.

Da un punto di vista funzionale quindi i casi studio hanno assolto nei secoli esclusivamente funzione difensivo-militare, contrariamente alla maggior parte dei manufatti censiti, che a partire dal XV sec. sono stati trasformati in sfarzose dimore signorili. La *Rocca di Vignola* tuttavia nei primi decenni del XV sec. venne ampliata e trasformata, tanto da diventare una dimora signorile fortificata, partendo da un edificio puramente militare. L'estrema somiglianza morfologico-costruttiva di questo manufatto con gli altri casi di studio, l'ha fatto inserire comunque tra i casi di approfondimento.

Da un punto di vista morfologico tutti gli esemplari sono costituiti da *torri angolari* a pianta quadrata, sporgenti rispetto il perimetro murario, scarpate nella parte di attacco a terra. Nella parte sommitale sono ancora oggi visibili le tracce delle *merlature* che originariamente coronavano questi elementi costruttivi, tuttavia l'evoluzione storica dei manufatti ha portato alla copertura di questi elementi architettonici con l'aggiunta di tetti a quattro falde. Le poche aperture presenti in questi corpi a prevalente sviluppo verticale, sono strombate verso l'interno e hanno forma rettangolare, con altezza maggiore rispetto alla larghezza. Ciò che attualmente possiamo ammirare di queste fortificazioni, rappresenta un insieme di elementi costruiti in fasi storiche differenti. Ad esempio in ciascun esemplare i *torrioni* occupano planimetricamente posizioni diverse, in quanto spesso essi costituiscono elementi antichi, inglobati successivamente nei complessi fortificati.

Molto evidente è ad esempio nel *Castello delle Rocche di Finale Emilia* l'inusuale posizione che il *mastio* assume rispetto agli altri corpi di fabbrica, come anche nel caso di *San Felice sul Panaro*.

Le *torri angolari* sono congiunte da *cinte murarie* o corpi di fabbrica, di altezza inferiore rispetto ad esse. Tutti questi elementi sono provvisti di apparato a sporgere, sorretto mediante *beccatelli*.

L'unica eccezione è costituita dalla *Rocca di Reggiolo*, la quale non presenta alcun apparato a sporgere, ma l'appartenenza cronologica del complesso e la somiglianza morfologico costruttiva con gli altri esemplari da approfondire, ha spinto ad inserirla tra i casi di approfondimento.

Le rocche in oggetto sono state realizzate interamente in laterizio, ad eccezione della *Rocchetta Nord* e di alcuni paramenti murari appartenenti alla *Rocca di Vignola*. Le modalità di posa in opera sembrano, secondo analisi poco approfondite, molto simili sia analizzando elementi differenti del medesimo manufatto fortificato, sia prendendo in esame roccaforti diverse, tuttavia indagini più dettagliate hanno messo in evidenza tecniche costruttive molto differenti.

Le coperture, laddove presenti, sono formate attualmente da orditure lignee e manti di copertura in coppi.

La particolarità di ciascun manufatto oltre che nella peculiarità delle tecniche costruttive utilizzate, risiede nella posizione che gli elementi architettonici occupano all'interno dell'intero complesso fortificato. Pur essendo infatti tutti i casi di studio formati dalle stesse poche tipologie di elementi architettonici, ognuno rappresenta un *unicum*, a causa delle diverse modalità di assemblaggio dei componenti comuni.

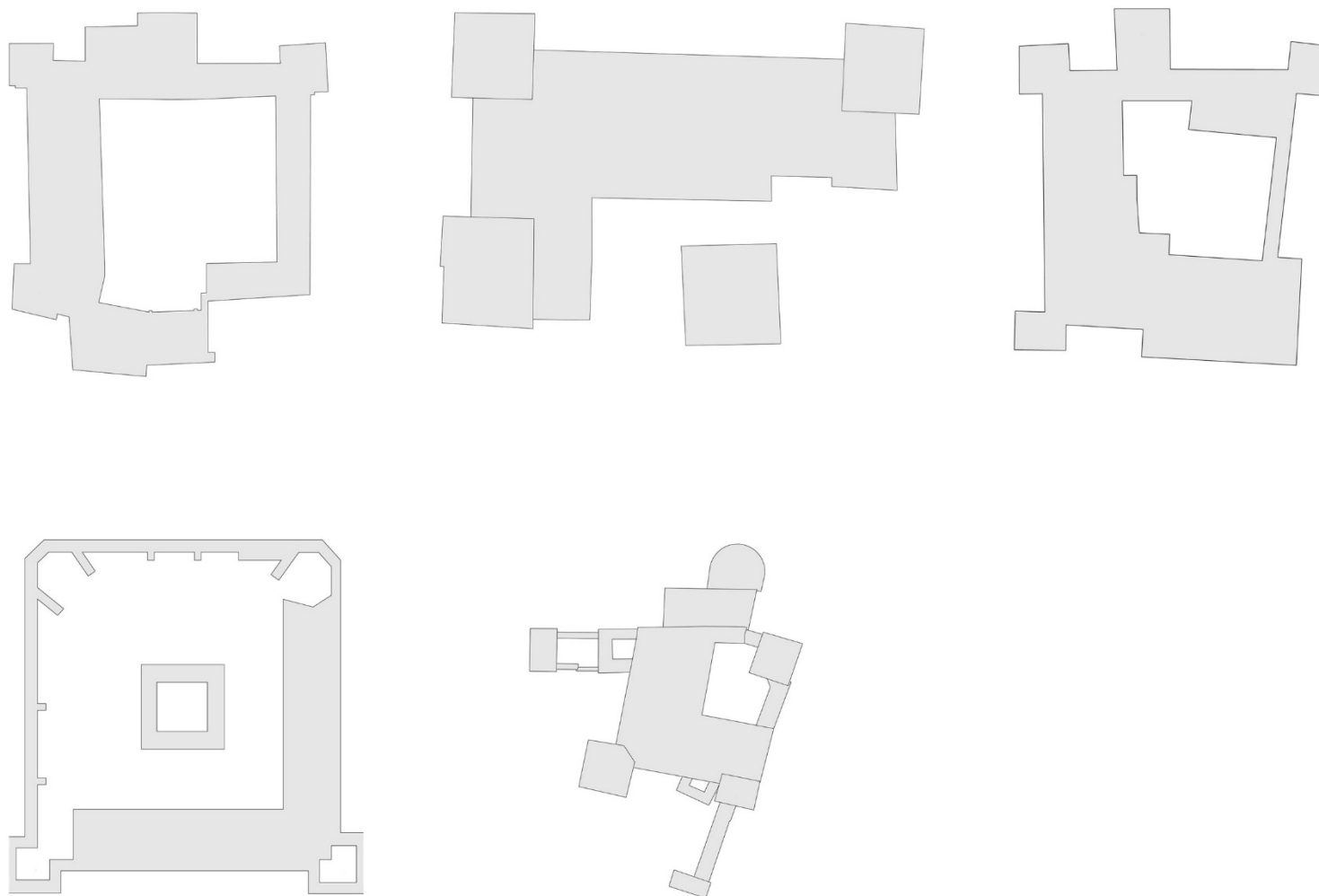


Figura 102 – Planimetrie schematiche relative i casi di studio. Dall'alto a sinistra e procedendo in senso orario: Rocca di Cento, Castello delle Rocche di Finale Emilia, Rocca di San Felice sul Panaro, Rocca di Reggiolo e Rocca di Vignola.

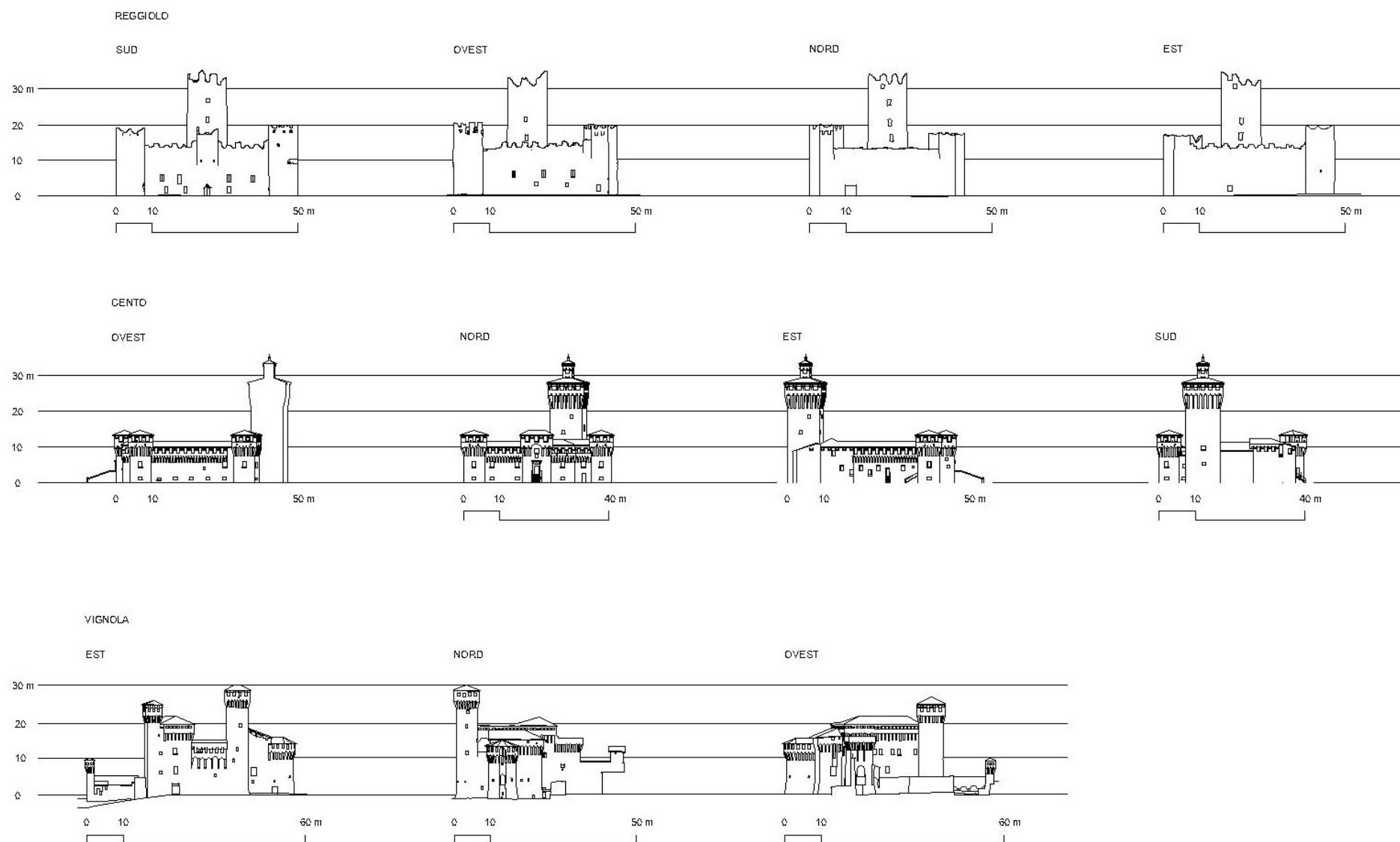


Figura 103 – Rilievo dei prospetti relativi le rocche di Reggio, Cento e Vignola (dall'alto verso il basso), nella situazione ante sisma.

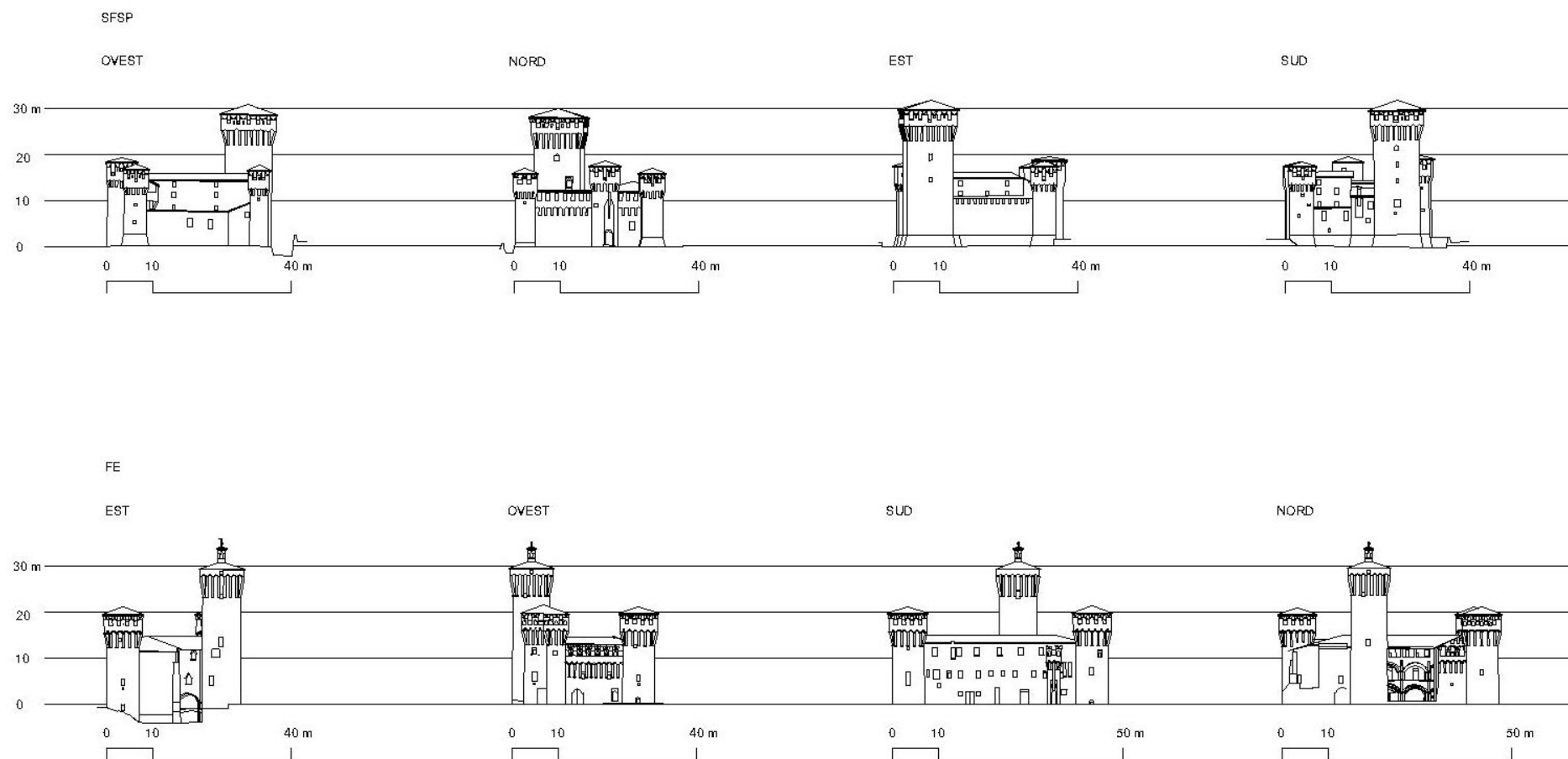


Figura 104 – Rilievo dei prospetti relativi le rocche San Felice sul Panaro e Finale Emilia (dall'alto verso il basso), nella situazione ante sisma.

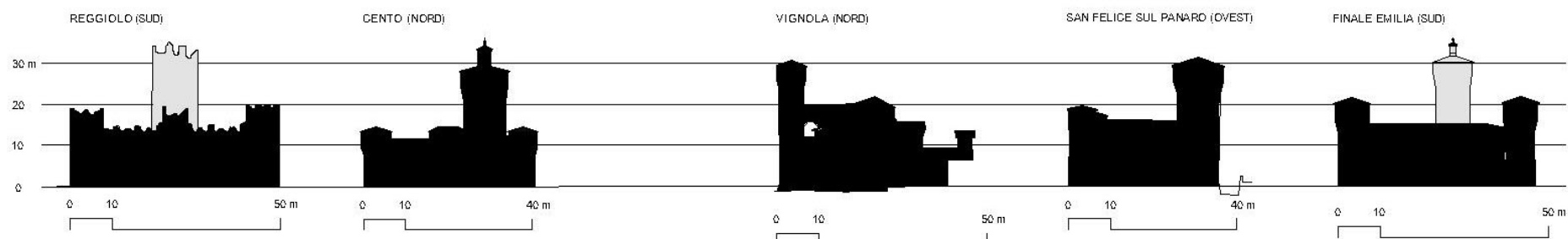


Figura 105 - Confronto tra i prospetti più significativi dei casi di studio. In grigio gli elementi architettonici staccati dal complesso fortificato.

III CAPITOLO

CINEMATISMI DI DANNO NEGLI EDIFICI FORTIFICATI CON PARTICOLARE RIGUARDO ALLE ROCCHE EMILIANE

3.1 Comportamento dinamico delle rocche

La risposta fornita dalle rocche emiliane agli eventi sismici del 2012 è molto varia, funzione di tante componenti e per questo motivo non facilmente spiegabile.

La magnitudo del sisma e la distanza tra epicentro e manufatto non costituiscono gli unici due fattori che influenzano il comportamento dinamico delle fortificazioni. L'entità dei danni che si sono rilevati negli edifici indagati infatti non varia proporzionalmente né all'accelerazione di picco al suolo, né alla posizione reciproca edificio-epicentro, ma è strettamente correlata alle tecniche costruttive utilizzate e alla morfologia.

La forma delle rocche, essendo molto irregolare sia in pianta che in alzato, costituisce una delle cause da tenere in considerazione nel calcolo della vulnerabilità sismica. In tutti i casi presi in esame, ad eccezione dei torrioni Nord - Est e Nord - Ovest della *Rocca di Reggiolo*, i quali risultano a filo della facciata Nord, i *torrioni* non sono a filo delle *cinte murarie* cui risultano addossati, ma sporgenti planimetricamente rispetto queste ultime. Inoltre le altezze dei primi elementi architettonici superano in ogni caso quelle delle *cinte murarie*, ad eccezione dei torrioni Sud - Est e Sud - Ovest della *Rocca di Reggiolo*, i quali hanno la medesima altezza della cinta muraria. Tali caratteristiche si traducono in sollecitazioni flessionali e torsionali nei *torrioni* e taglienti nelle mura.

Secondo la posizione che ciascuna *torre* occupa all'interno dell'intero complesso fortificato, il comportamento sotto sisma varia notevolmente. Ben diverse infatti risultano le risposte che una *torre isolata* e un *torrione* inglobato in un complesso fortificato offrono alle sollecitazioni dinamiche imposte. Nel primo caso, le sollecitazioni più importanti sono costituite da tensioni normali σ , in direzione verticale, massime alla base⁸⁹. Nel secondo caso invece il tipo di sollecitazione più rilevante è costituito da tensioni tangenziali τ , diffuse soprattutto nella parte centrale dei torrioni e nelle zone di contatto tra i due elementi architettonici considerati. Quando l'altezza delle murature assume valori rilevanti, paragonabili a quelli dei *torrioni*, va specificato che le tensioni tangenziali τ si sviluppano anche in corrispondenza dei coronamenti delle *torri*, interessando quindi *merli* e *beccatelli*.

⁸⁹ Cattari S., Degli Abbatì S., Ferretti D., Lagomarsino S., Ottonelli D., Tralli A., *The seismic behaviour of ancient masonry buildings after the earthquake in Emilia (Italy) on May 20th and 29th, 2012*, "Ingegneria Sismica", 2012, n. 2-3, pp. 97-101.

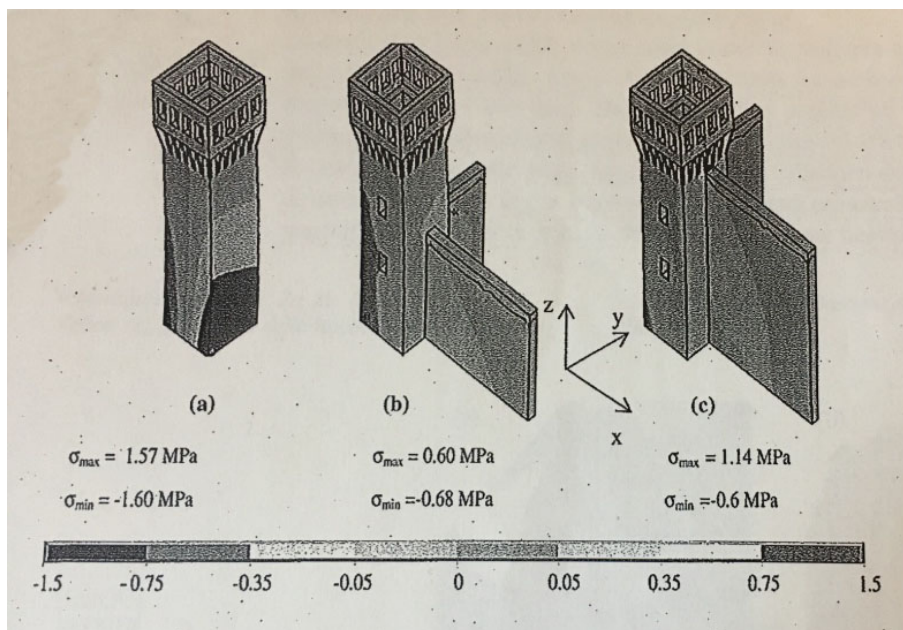


Figura 106 - Tensioni normali (σ) dovute a carichi statici permanenti (peso) e ad azioni variabili (sisma), che si manifestano, da sinistra verso destra: in una torre isolata, in una torre ben collegata a una cinta muraria con altezza inferiore, in una torre ben collegata a una cinta muraria della stessa altezza.

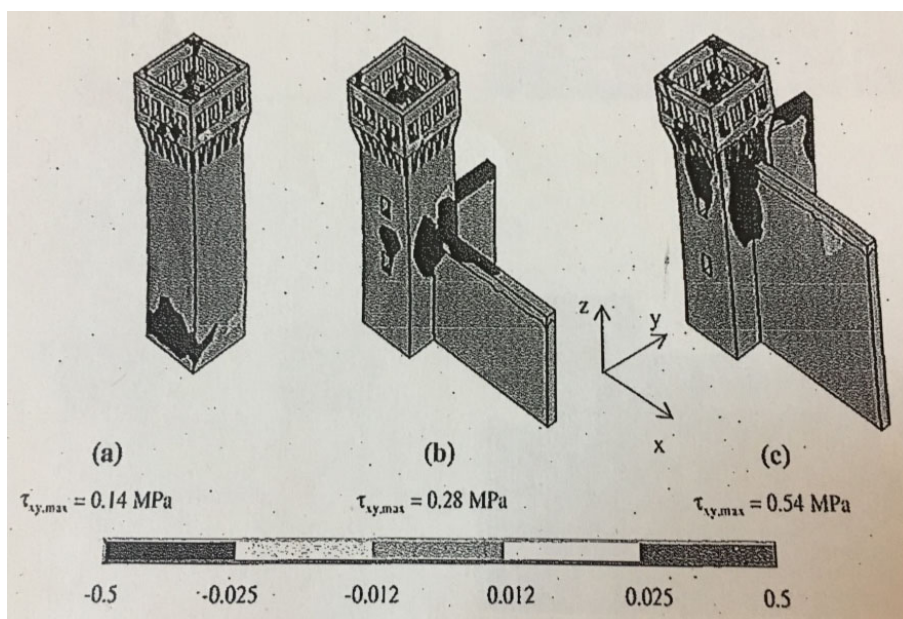


Figura 107 - Tensioni tangenziali (τ) dovute a carichi statici permanenti (peso) e ad azioni variabili (sisma), che si manifestano, da sinistra verso destra: in una torre isolata, in una torre ben collegata a una cinta muraria con altezza inferiore, in una torre ben collegata a una cinta muraria della stessa altezza.

Lo studio della distribuzione delle tensioni (figg. 106-107) riveste un ruolo importante in quanto rappresenta un valido strumento per interpretare i più probabili danni causati dal sisma.

I differenti comportamenti mostrati sotto sisma dalle *torri* isolate e da quelle inglobate nei manufatti fortificati, presentano molte analogie con le risposte fornite in situazioni analoghe dalle *torri campanarie* isolate e da quelle accostate o accorpate ai complessi ecclesiastici⁹⁰. Tra i meccanismi di

⁹⁰ F. Doglioni, A. Moretti, V. Petrini, *op. cit.*, pp. 202-224.

danno più diffusi nei *campanili isolati* e rilevabili anche nei *torrioni isolati*, ci sono le rotazioni e le traslazioni mono o biassiali delle parti sommitali, tra loro variamente combinate. I cinematismi cambiano secondo i vincoli costituiti da altri corpi di fabbrica, collocati in prossimità dei basamenti di *torri* o di *campanili*. È possibile stabilire una corrispondenza anche tra i quadri fessurativi rilevati negli elementi architettonici a prevalente sviluppo verticale appartenenti all'universo delle fortificazioni e a quelli concernenti le chiese.

La posizione rispetto all'intero complesso, le tecniche costruttive utilizzate e le caratteristiche geometriche molto diverse tra elementi architettonici adiacenti, costituiscono sia per le *torri* difensive sia per quelle campanarie i fattori principali da indagare per poter comprendere i dissesti sviluppatisi o possibili sotto sisma.

Negli edifici fortificati oggetto di sopralluogo, nonostante le peculiarità di ciascun manufatto, è stato possibile riscontrare aspetti ripetitivi negli scenari di danno manifestatisi, soprattutto per quanto riguarda la loro formazione e le modalità di manifestarsi nel tempo.

Per poter interpretare correttamente i quadri fessurativi rilevati nei casi di studio analizzati, si è dunque ritenuto opportuno inquadrare preventivamente le principali modalità di collasso possibili.

3.2 Abaco dei principali cinematismi di danno nelle tredici fortificazioni oggetto di indagine

“[...] Traditional masonry buildings react to seismic actions with the activation of recurrent damage mechanisms strictly related to the building typology. In Italy, the first systematic filing of these mechanisms was carried out after the 1976 Friuli earthquake, specifically for churches⁹¹. Later, also other building typologies were inspected (palaces, towers) and the catalogues of seismic damages found a place also in the most recent technical codes for the seismic protection of enlisted buildings⁹². Only recently, after the 2012 Emilia earthquake, a similar analysis was conducted also for the fortified buildings, first for brick masonry castles of the Emilia area⁹³, then widening the study area to six Italian regions hit by other significant seismic events. This allowed to identify the most recurrent damage mechanisms for the different fortified building typologies, both for prevention and for analysis purposes[...]”⁹⁴.

Nella presente ricerca è stato ampliato l'abaco dei principali meccanismi di danno tipici delle strutture fortificate in muratura, messo a punto da precedenti studi⁹⁵. In quest'ultimo sono stati catalogati tutti i cinematismi di collasso delle torri e l'interazione torre-cortina muraria (fig. 108). La classificazione realizzata utilizzando le informazioni raccolte durante i sopralluoghi, effettuati presso le tredici strutture fortificate, e i dati successivamente desunti dai rilievi fotografici realizzati *in loco*, prende invece in considerazione tutti gli elementi architettonici che costituiscono ciascun manufatto e permette di suddividere i meccanismi secondo l'elemento architettonico nel quale si sono manifestati. L'abaco redatto comprende quindi, per le motivazioni sopra esposte, anche tutte le peculiarità rilevate nelle tredici strutture indagate, ma ciò non ne preclude l'utilizzo per altri manufatti fortificati, tipologicamente e costruttivamente simili a quelli in oggetto, collocati in aree geografiche differenti.

L'abaco dei meccanismi di collasso redatto è costituito da due tabelle (figg. 109-110). I cinematismi di danno rilevati sono stati suddivisi, secondo la loro tipologia, in undici macro categorie, facendo riferimento alle classificazioni più diffuse⁹⁶.

⁹¹ *Ivi.*, pp. 5-10.

⁹² Ministero per i beni e le attività culturali, CIRCOLARE n. 26 del 2 Dicembre 2010, *op. cit.*, pp. 151-171.

⁹³ Cattari S., Degli Abbatì S., Ferretti D., Lagomarsino S., Tralli A., *Damage assessment of fortresses after the 2012 Emilia earthquake (Italy)*, in “Bulletin of Earthquake Engineering”, 2013, pp. 5-8.

⁹⁴ Coisson E., Ferrari L., Ferretti D., Rozzi M., *Non-smooth dynamic analysis of local seismic damage mechanisms of the San Felice Fortress in Northern Italy*, in “Procedia Engineering”, 2016, 161, pp. 452.

⁹⁵ Cattari S., Degli Abbatì S., Ferretti D., Lagomarsino S., Tralli A., *op. cit.*, p. 15.

⁹⁶ Ministero per i beni e le attività culturali, CIRCOLARE n. 26 del 2 Dicembre 2010, *op. cit.*, pp. 151-171.

La metodologia illustrata nel documento citato considera ventotto meccanismi di danno, associati ai vari macroelementi che potrebbero essere presenti in una generica chiesa. Per catalogare i cinematismi rilevati nelle strutture fortificate oggetto della presente ricerca, è stato necessario adattare le categorie descritte dalle linee guida agli elementi architettonici che costituiscono i manufatti difensivi. In questo modo, i meccanismi di ribaltamento della facciata e i meccanismi nella sommità della facciata, facilmente rilevabili nel caso di chiese colpite da sisma, sono stati trasformati, per le fortificazioni, in: ribaltamento fuori dal piano apparato a sporgere, ribaltamento fuori dal piano con evidenza della cerniera cilindrica e ribaltamento composto fuori dal piano corpo principale.

Le macro categorie individuate sono:

- ribaltamento fuori dal piano dell'apparato a sporgere,
- ribaltamento fuori dal piano di lanterne e torrette,
- ribaltamento fuori dal piano paramenti compresi tra merli e beccatelli (con evidenza della cerniera cilindrica),
- ribaltamento composto fuori dal piano del corpo principale,
- flessione orizzontale di parete,
- meccanismi da taglio del corpo principale,
- meccanismi da taglio delle merlature,
- meccanismi da cattivo ammorsamento torri-mura di cinta,
- meccanismi da presenza di pesanti cordoli o solette in C.A. “*effetto seghetta*”⁹⁷,
- meccanismi da degrado materico laterizi,
- cedimento fondale.

Per facilitare la lettura dell'abaco, sintetizzando la descrizione delle macro categorie da inserire per rendere immediatamente riconoscibili le classi di cinematismi, si è ritenuto opportuno identificare ognuna di esse mediante una lettera. Le categorie già individuate nell'abaco messo a punto da Cattari *et alii*, sono state sottolineate.

A ciascuna categoria sono state successivamente associate le strutture fortificate presso le quali sono stati rilevati i meccanismi di danno. I manufatti danneggiati, all'interno della prima tabella dell'abaco, sono stati indicati con il nome del comune di appartenenza.

I meccanismi relativi la cella campanaria, descritti dalle linee guida come cinematismo n. 28, hanno trovato grandi analogie con quanto verificatosi nel ribaltamento fuori dal piano lanterne e torrette delle tredici realtà indagate.

Le due macrocategorie relative i meccanismi da taglio delle merlature e i meccanismi da taglio del corpo principale, rappresentano nelle fortificazioni i meccanismi di taglio nelle pareti laterali (risposta longitudinale) rintracciabili nelle chiese.

L. Milano, A. Marinella, C. Morsi, A. Martinelli, *Schede illustrative dei principali meccanismi di collasso locali negli edifici esistenti in muratura e dei relativi modelli cinematici di analisi*, Reluis 2008, pp. 4-14.

La quarta delle schede illustrative relative i principali meccanismi di collasso locali negli edifici esistenti in muratura, contenute nella ricerca sopra citata, analizza la flessione orizzontale di parete, rilevata anche in corrispondenza di alcune delle strutture fortificate oggetto di indagine.

Regione Marche, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Università degli Studi de l'Aquila, *Repertorio meccanismi di danno, delle tecniche di intervento e dei relativi costi negli edifici in muratura*, Tipografie Grafiche Scarponi SRL, Osimo (AN) 2007, pp. 33.

Tra i meccanismi globali degli edifici in muratura indagati dallo studio di cui sopra, è possibile evincere il cedimento fondale, rilevato anche strutture studiate.

Alcuni dei meccanismi locali degli edifici in muratura sono stati favoriti da irregolarità del materiale, debolezze locali, ecc. Vanno ricordati: meccanismi da cattivo ammorsamento torri-mura di cinta, meccanismi da presenza pesanti cordoli o solette in C.A. “*effetto seghetta*” e meccanismi da degrado materico laterizi.

⁹⁷ I meccanismi generati a causa della presenza di cordoli o solette in C.A., messi in opera durante alcuni interventi di consolidamento strutturale effettuati nel XX sec., nella presente ricerca sono stati denominati “*effetto seghetta*”, in quanto hanno prodotto conseguenze simili a quelle che avrebbe potuto generare un operatore incauto tagliando con una lama dentata alcune porzioni dei macroelementi interessati, ovvero la frantumazione di questi ultimi e la conseguente polverizzazione delle parti cadute a terra.

INTERACTION	1		POSSIBLE TOWER POSITION IN THE FORTRESS			
MAIN BODY OF THE TOWER	2a			2c		
	2b			2d		
UPPER PART OF THE TOWER	3a		3b		3c	
	3d		3e		3f	
ROOF	4a		4b		4c	
	4d		4e		4f	

Figura 108 - Abaco dei principali meccanismi di danno tipici delle strutture fortificate in muratura.

Le colonne della tabella iniziale sono state numerate, pertanto la lettura del tabulato permette di contraddistinguere ogni cinematismo con un codice alfanumerico, costituito da una lettera e da una cifra.

È possibile consultare la seconda tabella con riferimento ai codici di cui sopra.

Il secondo ed ultimo dei tabulati che costituiscono l'abaco, indica per ogni meccanismo di danno l'elemento architettonico in cui si è verificato.

L'abaco viene completato da una serie di fotografie: per ciascun cinematismo è stata selezionata un'immagine esplicativa, fra tutte quelle presenti nella banca dati costruita durante i sopralluoghi.

Ogni foto viene descritta mediante i codici alfanumerici della tabella n. 2.

		1	2	3	4
ABACO DEI CINEMATISMI DI DANNO	A <u>RIBALTAMENTO FUORI DAL PIANO APPARATO A SPORGERE</u>	VIGNOLA	FINALE E.	REGGIOLO	
	B RIBALTAMENTO FUORI DAL PIANO LANTERNE E TORRETTE	FERRARA	SOLIERA		
	C <u>RIBALTAMENTO FUORI DAL PIANO CON CERNIERA CILINDRICA</u> <u>PARAMENTI COMPRESI TRA MERLI E BECCATELLI</u>	SAN FELICE S/P			
	D <u>RIBALTAMENTO COMPOSTO FUORI DAL PIANO CORPO PRINCIPALE</u>	SAN FELICE S/P	CENTO	POGGIO R.	
	E FLESSIONE ORIZZONTALE DI PARETE	VIGNOLA	BONDENO	MIRANDOLA	
	F MECCANISMI DA TAGLIO CORPO PRINCIPALE	NOVELLARA	FERRARA		
	G MECCANISMI DA TAGLIO MERLATURE	SAN FELICE S/P	FINALE E.	SOLIERA	CREVALCORE
	H MECCANISMI DA CATTIVO AMMORSAMENTO TORRI-MURA DI CINTA	SAN FELICE S/P	NOVELLARA	REGGIOLO	
	I <u>MECCANISMI DA PRESENZA PESANTI CORDOLI O SOLETTE IN C.A.</u> <u>"EFFETTO SEGNETTA"</u>	SAN FELICE S/P	FINALE E.		
	L <u>MECCANISMI DA DEGRADO MATERICO LATERIZI</u>	NOVELLARA	CREVALCORE		
M	CEDIMENTO FONDALE	NOVELLARA			

Figura 109 – Tabella n. 1.

LEGENDA ABACO DEI CINEMATISMI DI DANNO	A1	Parte sommitale torre SO	H1	Torrioni NE e cinta muraria
	A2	Merli e beccatelli relativi alle torri SE e SW	H2	Torre portaia e edificio NW
	A3	Parti sommitali torri NE e NW	H3	Torre SO e cinta muraria
	B1	Lanterne SE e NE	I1	Sgretolamento lato E torre N, parti sommitali torri facciata N
	B2	Lanterne	I2	Parti sommitali torri, mastio, loggiato <i>Giovanni da Siena</i>
	C1	Lesioni orizzontali lungo la parte di spicco dei beccatelli	L1	Edificio ubicato verso E, parti sommitali beccatelli
	D1	Torre S	L2	Fessurazione passanti dei bancali
	D2	Torre isolata (crollo antecedente sisma)	M1	Ponte SW
	D3	Torre O (detta <i>torre dell'orologio</i>), coperture corpi ad essa adiacenti		
	E1	Torre NE (detta torre <i>Nonantolana</i>)		
	E2	Maschio murario centrale e torri laterali facciata S		
	E3	Fessurazioni dei bancali, comprese tra i merli e la parte sommitale dei beccatelli		
	F1	Torre portaia S, lato E; finestra principale edificio, lato E; edificio, lato N		
	F2	Torre SO, lato SO		
	G1	Torre S (unica con parte sommitale non crollata), merli non liberi		
	G2	Merli non liberi dei torrioni		
	G3	Tamponature merlature torrioni		
	G4	Merli torrione SO		

Figura 110 - Tabella n. 2.

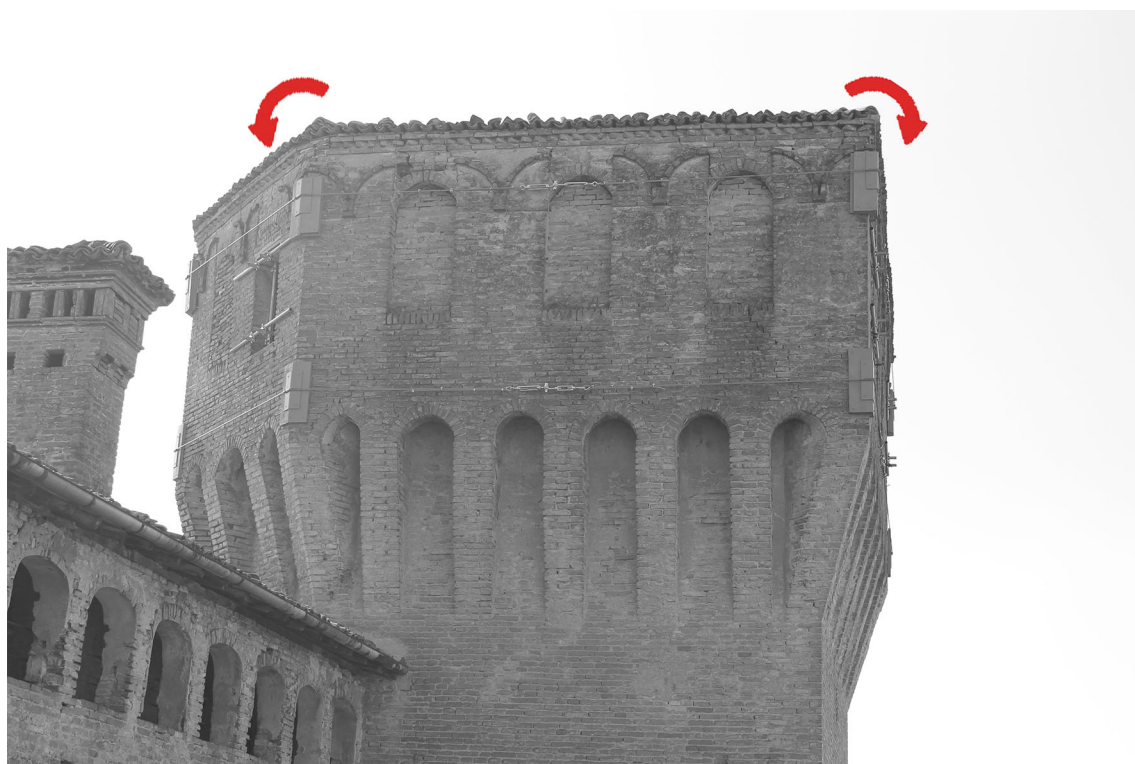


Figura 111 – A1: ribaltamento fuori dal piano apparato a sporgere, Rocca di Vignola.

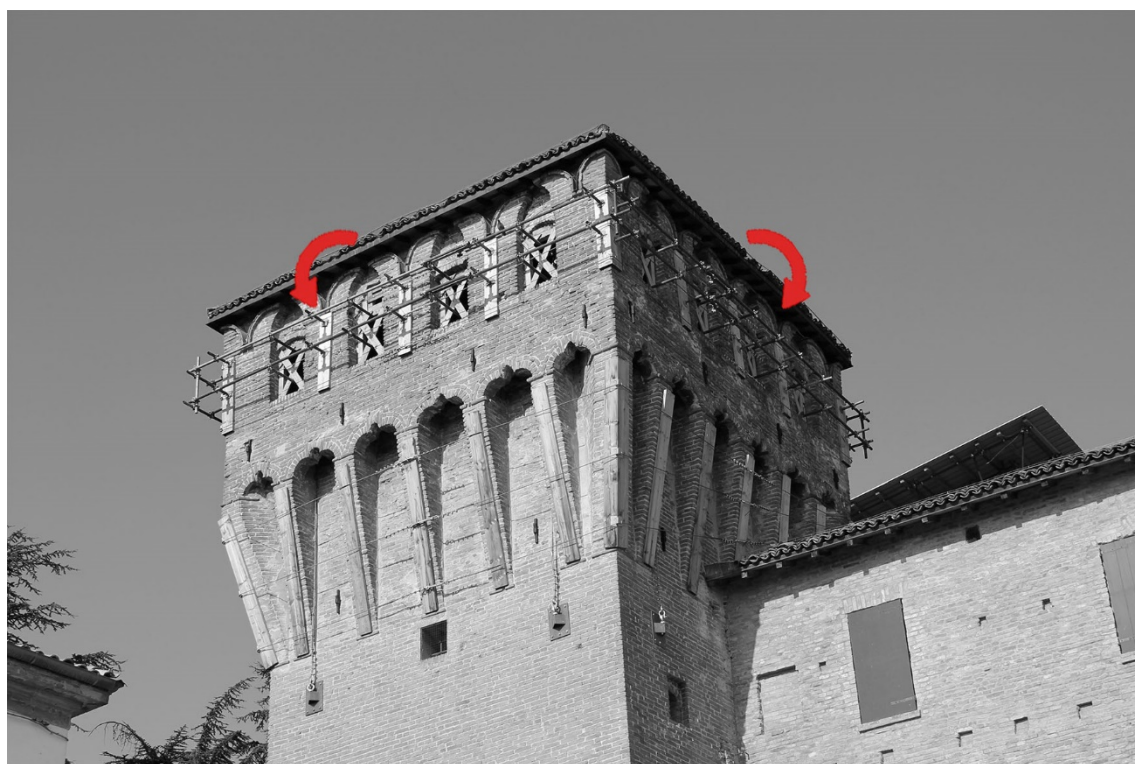


Figura 112 – A2: ribaltamento fuori dal piano apparato a sporgere, Castello delle Rocche di Finale Emilia.



Figura 113 – A3: ribaltamento fuori dal piano apparato a sporgere, Rocca di Reggiolo.

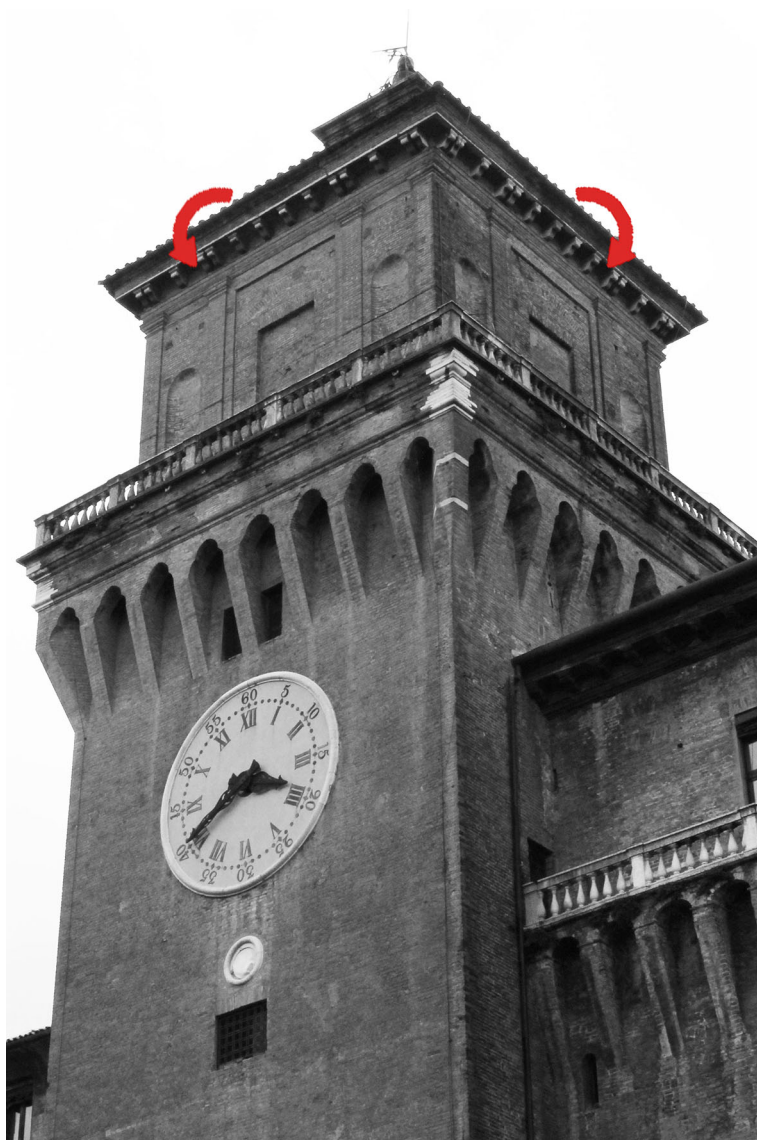


Figura 114 – B1: ribaltamento fuori dal piano lanterne e torrette, Castello Estense di Ferrara.



Figura 115 – B2: ribaltamento fuori dal piano lanterne e torrette, Castello Manzoli di Soliera.



Figura 116 – C1: ribaltamento fuori dal piano con cerniera cilindrica, Rocca di San Felice sul Panaro.



Figura 117 – D1: ribaltamento composto fuori dal piano corpo principale e fessurazioni a taglio, Rocca di San Felice sul Panaro.

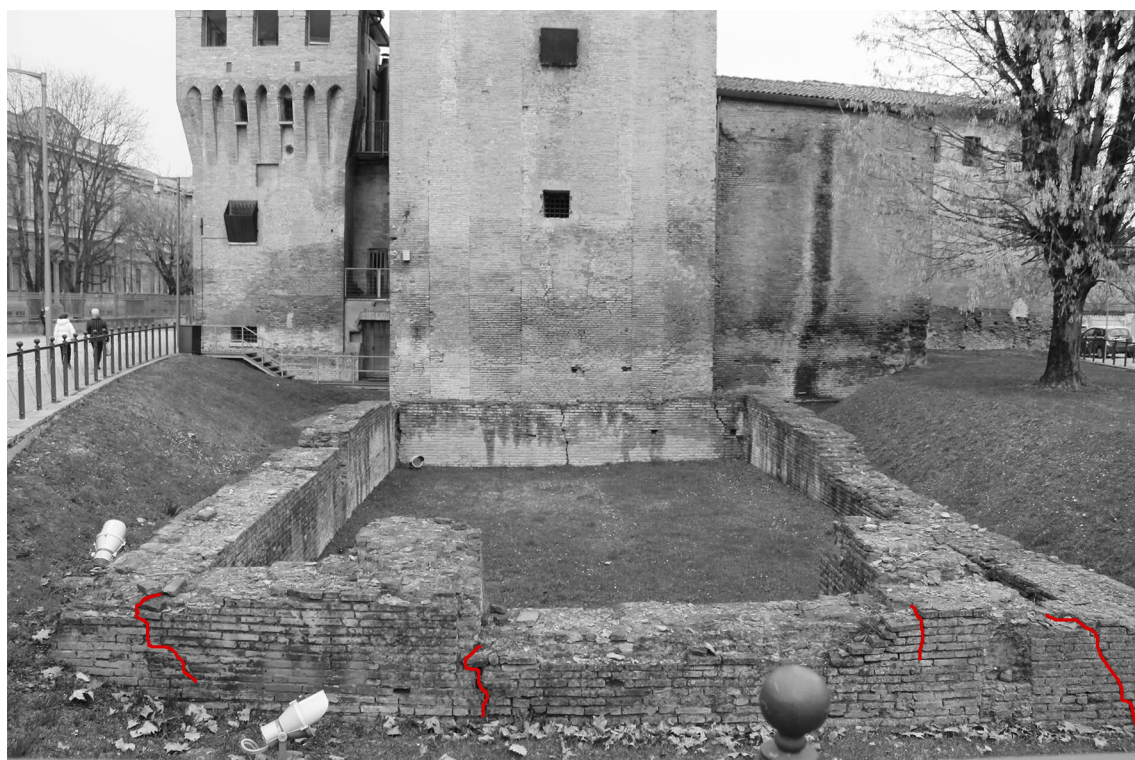


Figura 118 – D2: pregresso ribaltamento fuori dal piano (non ascrivibile agli eventi sismici del 2012), Rocca di Cento.



Figura 119 – D3: ribaltamento fuori dal piano, Castello Lambertini di Poggio Renatico.



Figura 120 – E1: flessione orizzontale di parete, Rocca di Vignola.

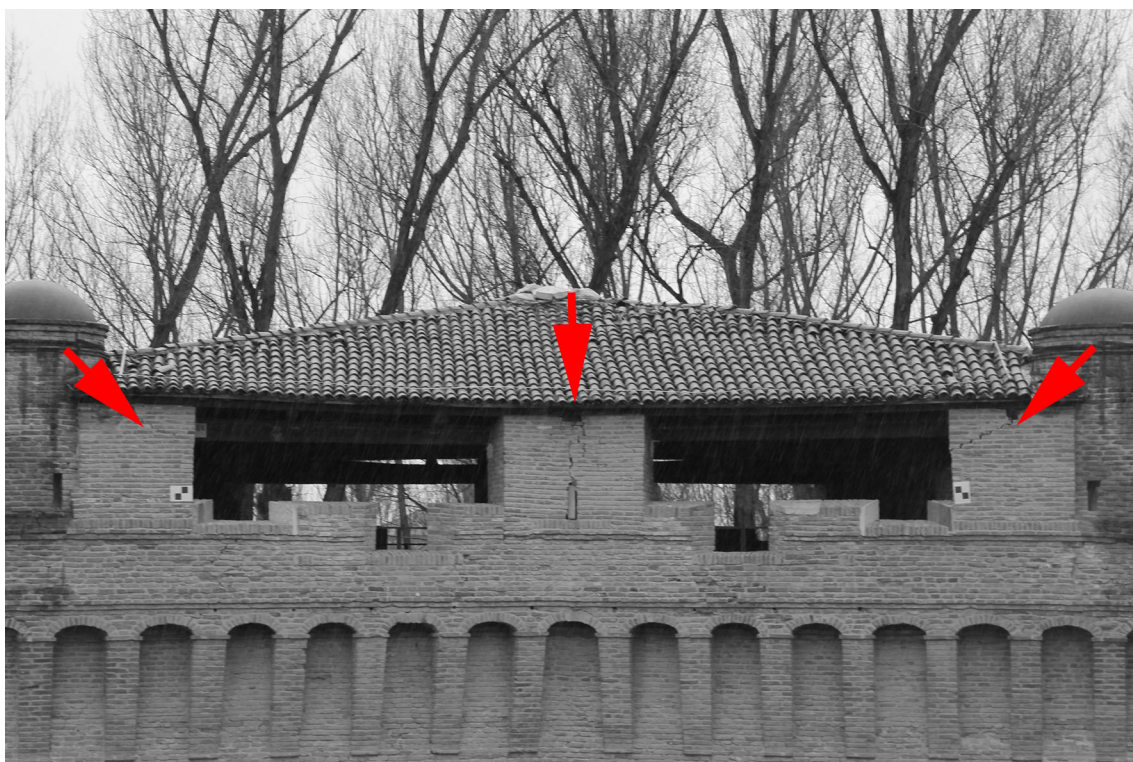


Figura 121 – E2: flessione orizzontale di parete, Forte Estense di Bondeno.



Figura 122 – E3: flessione orizzontale di parete, Castello dei Pico a Mirandola.

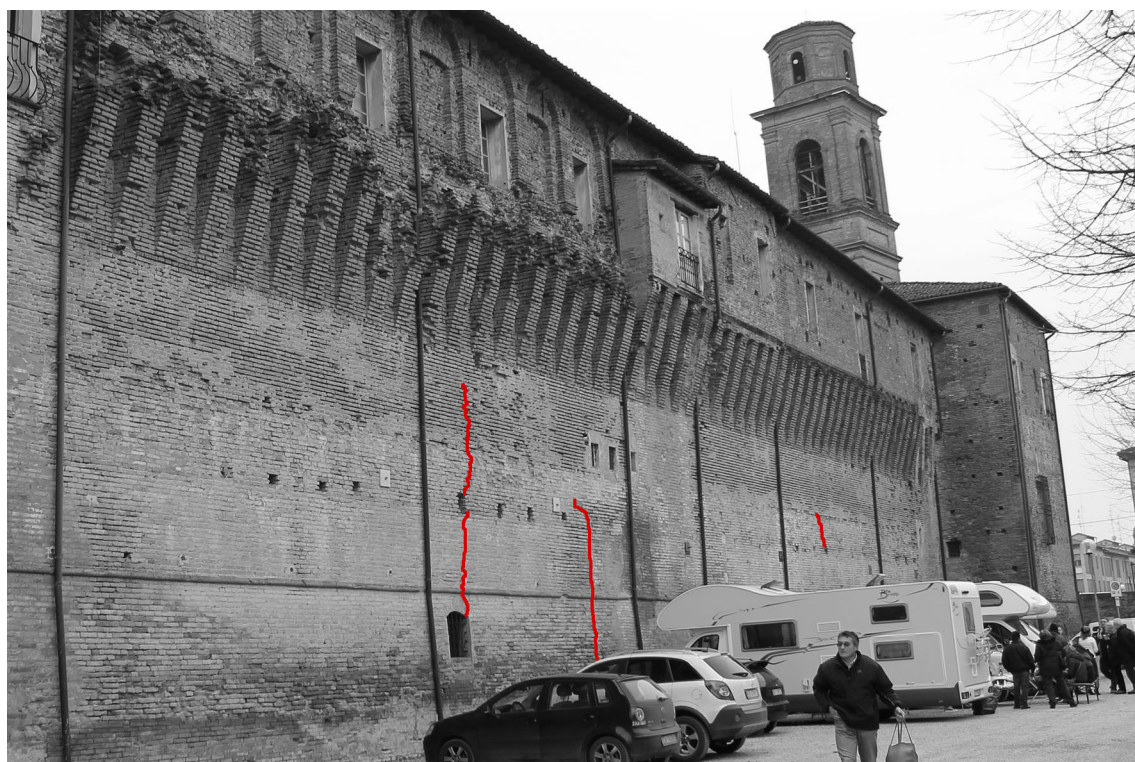


Figura 123 – F1: meccanismi da taglio corpo principale, Rocca dei Gonzaga di Novellara.

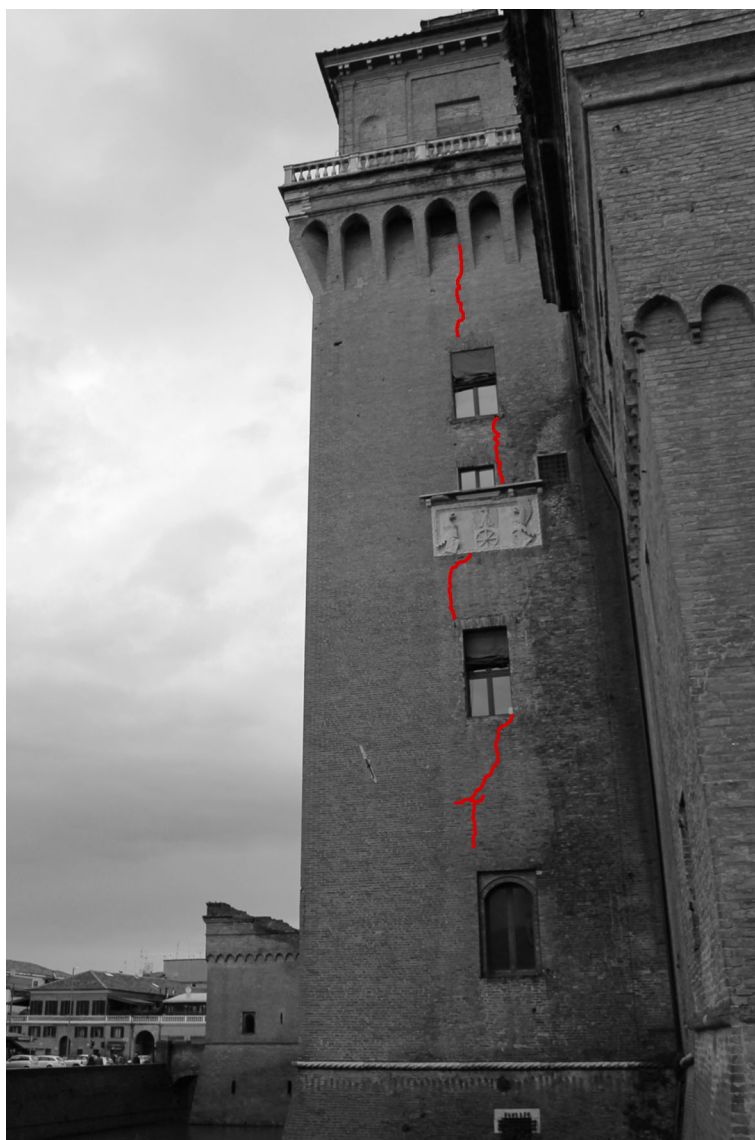


Figura 124 – F2: meccanismi da taglio corpo principale, Castello Estense di Ferrara.



Figura 125 – G1: meccanismo da taglio merlature, Rocca di San Felice sul Panaro.



Figura 126 – G2: meccanismo da taglio merlature, Castello delle Rocche di Finale Emilia.



Figura 127 – G3: meccanismo da taglio merlature, Castello Manzoli di Soliera.

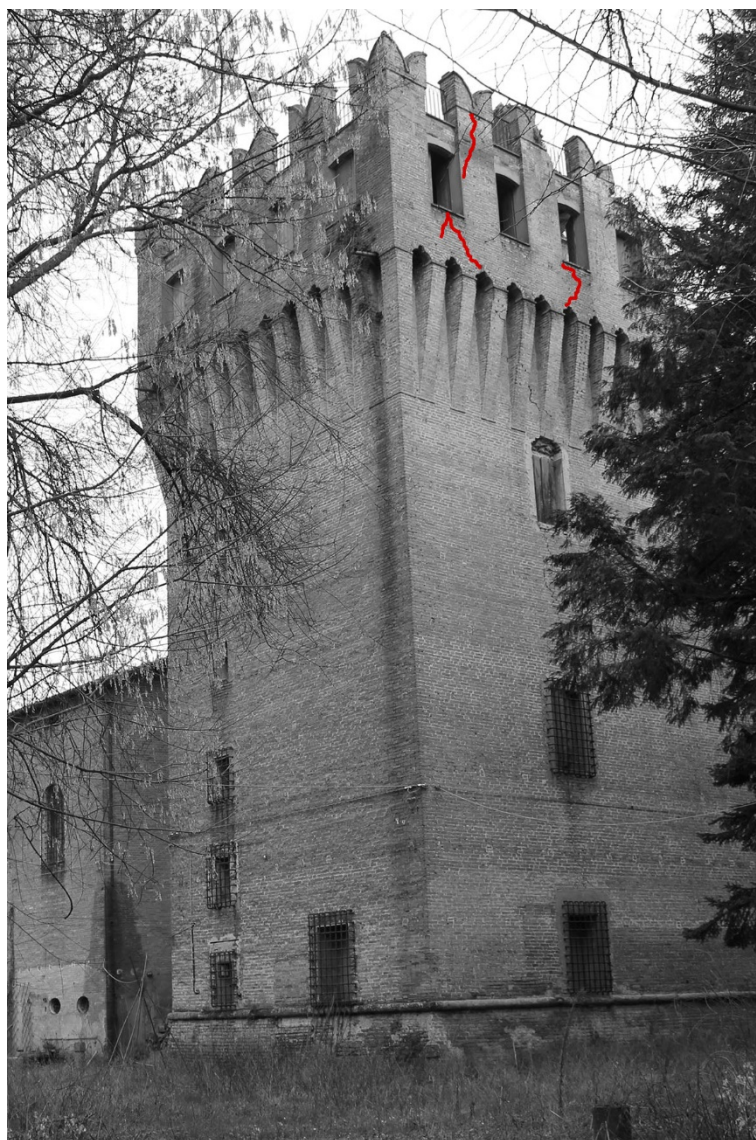


Figura 128 – G4: meccanismi da taglio merlature, Castello di Galeazza a Crevalcore.

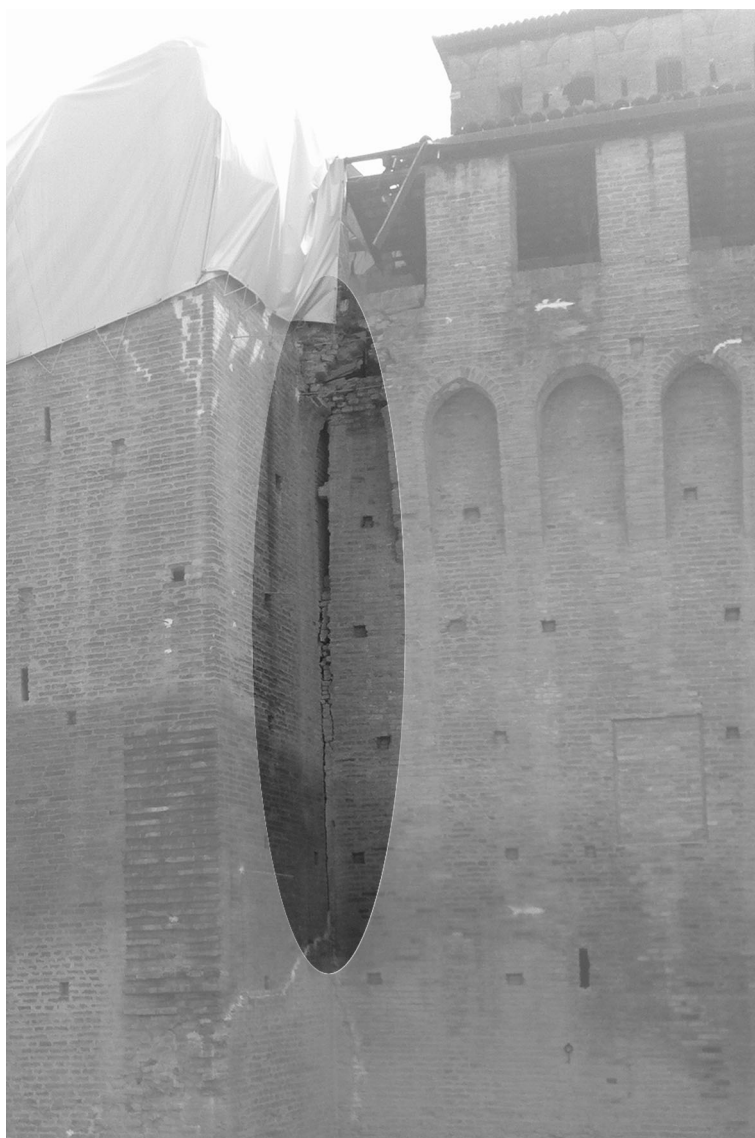


Figura 129 – H1: meccanismi da cattivo ammortamento torri-mura di cinta, Rocca di San Felice sul Panaro.



Figura 130 – H2: meccanismi da cattivo ammassamento torri-mura di cinta, Rocca dei Gonzaga di Novellara.

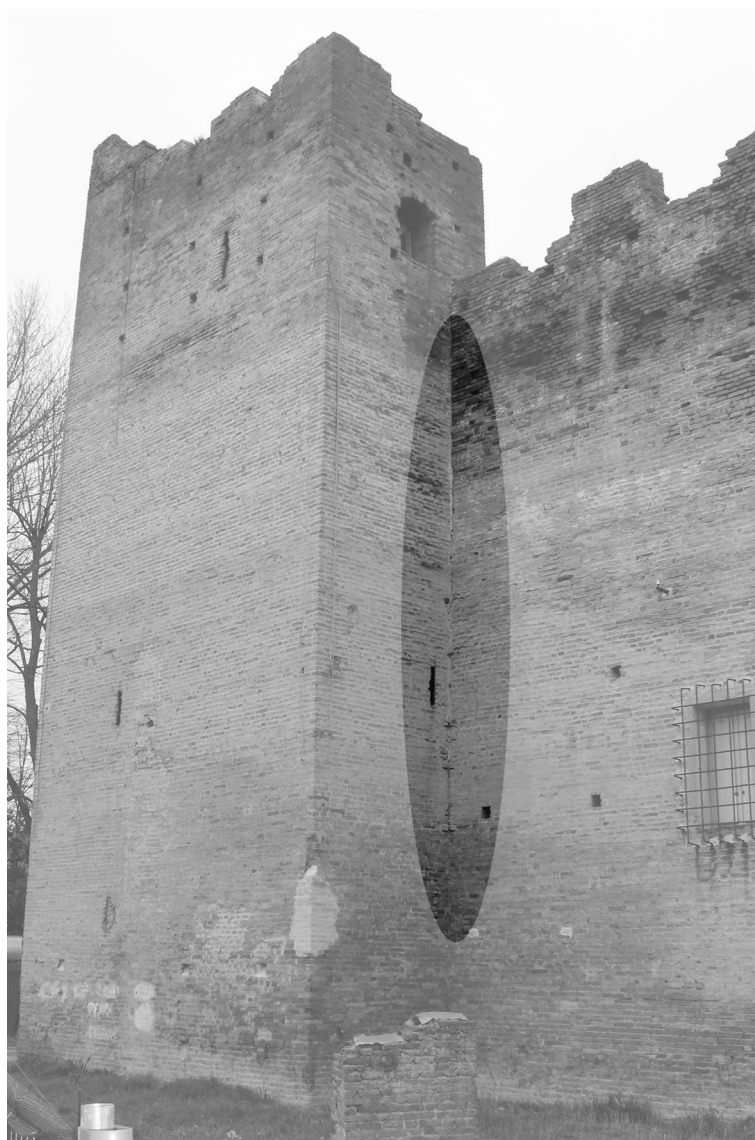


Figura 131 – H3: meccanismi da cattivo ammassamento torri-mura di cinta, Rocca di Reggiolo.



Figura 132 – I1: meccanismo da presenza pesanti cordoli o solette in C.A. “effetto seghetta”, Rocca di San Felice sul Panaro.



Figura 133 – I2: meccanismo da presenza pesanti cordoli o solette in C.A. “effetto seghetta”, Castello delle Rocche di Finale Emilia.



Figura 134 – L1: meccanismi da degrado materico laterizi, Rocca dei Gonzaga di Novellara.



Figura 135 – L1: meccanismi da degrado materico laterizi, Rocca dei Gonzaga di Novellara.



Figura 136 – L2: meccanismi da degrado materico laterizi, Castello di Galeazza a Crevalcore.

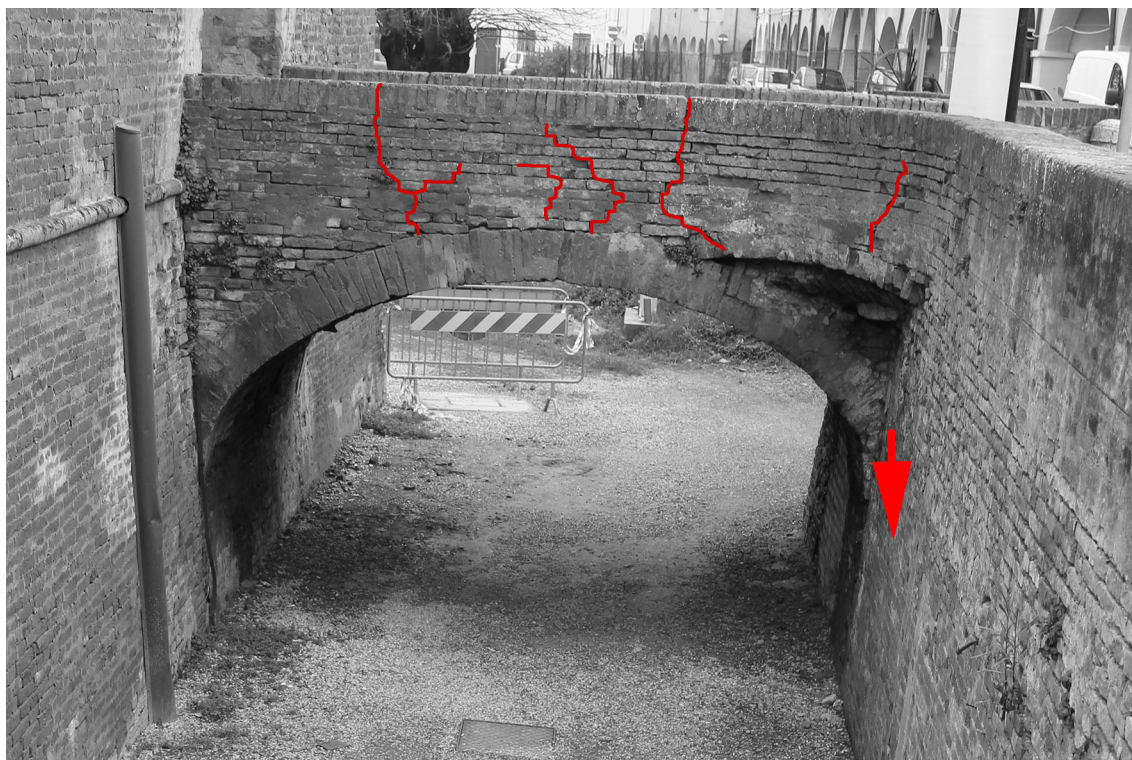


Figura 137 – M1: cedimento fondale ponte, Rocca dei Gonzaga di Novellara.

La catalogazione dei meccanismi di danno realizzata mediante l'abaco, ha permesso di capire quali cinematismi hanno interessato ognuno degli elementi architettonici presenti nelle tredici fortificazioni prese in considerazione.

Per inquadrare più chiaramente i meccanismi che hanno danneggiato i **torrioni**, i quali rappresentano uno degli elementi presenti in tutti i manufatti difensivi analizzati, si è scelto di suddividerli in parti macroscopiche: corpo principale, apparato a sporgere e copertura.

Per quanto riguarda il **corpo principale**, è stato più volte rilevato un *cinematismo di danno dovuto a forze di taglio*, con possibili effetti torsionali, diffuso soprattutto nei casi in cui le torri sono ben ammassate alle strutture adiacenti (edifici e/o cinte murarie). I rilievi fessurativi realizzati post-sopralluogo, hanno permesso di capire che l'andamento delle lesioni, seppur originato in ogni caso da forze taglienti, è ampiamente influenzato dalla presenza, dal numero, dalla posizione e dalla forma delle aperture. Infatti mentre in assenza di queste ultime, le lesioni assumono il tipico andamento a 45° delle lesioni da taglio, in presenza di interruzioni materiche importanti, il quadro fessurativo segue le linee di indebolimento, viene deviato dal consueto andamento e a volte ricalca parzialmente il perimetro delle aperture, come ad esempio si può constatare nella facciata Est della torre portaia Sud relativa alla *Rocca dei Gonzaga* a Novellara (**F1**).

Bisogna prestare particolare attenzione a non confondere un cinematismo scatenato da forze taglienti, simile alla tipologia appena esposta, con quello provocato da meccanismi di *ribaltamento fuori dal piano*, innescatosi in successione e non manifestatosi completamente, grazie all'attivazione di meccanismi di isolamento sismico spontanei. L'indicatore di quest'ultimo cinematismo spesso è costituito dall'espulsione di materiale, come accaduto nella torre Sud della *Rocca di San Felice sul Panaro* (**D1**).

Alcuni dei danni più evidenti, riscontrati in sede di sopralluogo, sono attribuibili allo sviluppo di meccanismi di dissesto innescati dalla presenza di elementi correlabili con tecniche di consolidamento pregresse. Ad esempio, l'utilizzo di cordoli in C.A. nella torre Nord, facciata Est, della *Rocca di San Felice sul Panaro*, associata alla costruzione attraverso tecniche costruttive e materiali scadenti di questo elemento architettonico, ne ha provocato lo sgretolamento del corpo centrale (**I1**).

Anche l'**apparato a sporgere** dei tredici casi presi in considerazione, secondo l'analisi dei quadri fessurativi, ha subito differenti tipologie di danno.

Il cinematismo più diffuso è il *ribaltamento fuori dal piano*. Mentre in alcuni casi, questo meccanismo interessa l'intero apparato a sporgere, cioè tutta la parte sommitale della torre, in altre situazioni riguarda esclusivamente le merlature, i beccatelli o entrambi questi elementi architettonici.

Un caso molto particolare è costituito dalla *Rocca di San Felice sul Panaro*, nella quale sono state rilevate lesioni orizzontali continue, in corrispondenza degli apparati murari localizzati tra merli e beccatelli della facciata Nord (**C1**), indice di un cinematismo di ribaltamento fuori dal piano, attorno ad una

cerniera cilindrica, costituita dalla presenza di un possibile cordolo interno agli apparati murari sopra menzionati.

In alcuni dei casi analizzati sono stati inoltre riscontrati sistemi fessurativi dovuti a forze taglienti agenti nel medesimo piano degli elementi considerati. Ad esempio nelle merlature non libere⁹⁸, siano esse appartenenti alle torri che alle cinte murarie, si sono manifestate tipiche lesioni a taglio, inclinate a 45°.

Per quanto concerne le merlature libere, in linea generale non sono visibili danni, ad eccezione del torrione Sud Ovest del *Castello di Galeazza* a Crevalcore (BO), nel quale i merli sono parzialmente crollati (**G4**).

L'elevata componente verticale dell'accelerazione sismica caratterizzante gli eventi tellurici del Maggio 2012⁹⁹ ha provocato ingenti danni agli **elementi sporgenti**. Le parti maggiormente interessate sono i beccatelli e le mensole in muratura. I primi sono generalmente oggetto di fessure passanti, interessanti tutto lo spessore murario ed aventi andamento discendente dall'interno verso l'esterno. Lo stesso tipo di lesioni si sono manifestate anche in corrispondenza dei bancali in muratura. Inoltre sono state riscontrate rotture degli archi sommitali dei beccatelli e crolli parziali.

Per quanto riguarda il pacchetto di **copertura**, è stato constatato che nei casi in cui la spinta del tetto non sia adeguatamente contrastata, si sono innescati meccanismi di flessione orizzontale di parete. Il punto di applicazione della forza in oggetto può essere fatto coincidere con la parte sommitale dei cantonali, in corrispondenza dei quali sono spesso visibili importanti quadri fessurativi.

L'interazione tra gli elementi architettonici che formano le strutture fortificate prese in considerazione, come ad esempio le mutue relazioni tra le torri e le mura di cinta o tra le torri e gli edifici, costituisce un fattore molto importante per la comprensione dei fenomeni di dissesto rilevati. Quando le porzioni di muratura che appartengono a solidi adiacenti e che costituiscono la sezione di contatto tra questi ultimi, non sono ammorsate tra loro, in situazioni dinamiche, si manifesta un distacco evidenziato da lesioni con andamento prevalentemente verticale. Quindi nelle torri isolate o mal ammorsate alle mura perimetrali contigue, si riscontra un quadro fessurativo alla base. Nei casi in cui invece le torri sono ben ammorsate alle mura di cinta, prevalgono fenomeni torsionali e nella porzione superiore delle torri, avente altezza maggiore rispetto a quella delle mura perimetrali, si riscontrano lesioni a taglio.

⁹⁸ Merli inglobati, durante le trasformazioni storiche che hanno coinvolto le fabbriche fortificate prese in considerazione, nei pacchetti di sostegno delle coperture postume.

⁹⁹ Il moto sismico del 2012, è stato caratterizzato in superficie da significative componenti alle basse frequenze, per cui gli elementi maggiormente vulnerabili sono stati quelli snelli (torri, campanili, ecc.), caratterizzati da basse frequenze proprie. l'azione sismica diventa infatti molto pericolosa tanto più la sua frequenza assume valori simili a quelli della frequenza di vibrazione propria degli elementi architettonici coinvolti.

In sede di sopralluogo sono stati rilevati oltre ai cinematismi finora esposti, relativi agli elementi architettonici presenti in tutte le fortificazioni catalogate, anche alcuni meccanismi attinenti agli elementi che compaiono soltanto sporadicamente nei manufatti.

Tra le tipologie di danno più diffuse, riguardanti gli **elementi architettonici meno comuni nelle fortificazioni**, si segnala il *ribaltamento fuori dal piano di lanterne e torrette*, come nel *Castello Estense di Ferrara (B1)* e nel *Castello Manzoli di Soliera (B2)*.

Queste ultime, spesso costruite successivamente agli altri elementi, oltre che costituire delle irregolarità in elevazione rispetto all'intero complesso fortificato, ed essendo proprio per questo motivo maggiormente vulnerabili, hanno risposto alle sollecitazioni sismiche del 2012 seguendo i meccanismi di danno già illustrati in ricerche¹⁰⁰ messe a punto per rispondere agli stessi obiettivi del presente studio, ma riguardanti altri elementi snelli, come per esempio le celle campanarie. Oltre all'altezza diversa rispetto quella degli altri elementi architettonici ed alla preponderante snellezza, le lanterne e le torrette sono caratterizzate anche dalla presenza di numerose aperture¹⁰¹. Secondo il campione di studio poco consistente a disposizione tuttavia la numerosità delle aperture non rientra fra i fattori che contribuiscono maggiormente alla formazione ed allo sviluppo di questo meccanismo.

All'indomani della dismissione dei ponti levatoi¹⁰² in legno, si assiste ad una generalizzata sostituzione di questi elementi, con ponti fissi in muratura. Per quanto riguarda le fortificazioni indagate, è stata rilevata la presenza di un **ponte** di accesso fisso in muratura, ad una campata, in corrispondenza dell'angolo Sud-Ovest della *Rocca dei Gonzaga* di Novellara¹⁰³. Il quadro fessurativo è costituito da un insieme di lesioni dovute all'azione combinata di forze di trazione e di compressione o all'esistenza di piani deboli. L'andamento verticale delle lesioni fa pensare anche all'attivazione di un cedimento secondo le modalità tipiche delle strutture voltate, in quanto il ponte è sostenuto mediante una volta a botte: se ne constata infatti l'abbassamento della chiave di volta e la creazione di un profilo geometrico ribassato poco stabile (**M1**).

In molti manufatti fortificati si sono purtroppo registrati ingenti **crolli**, la forma di danno più grave, in ogni modo irrecuperabile. Essi sono stati causati da cinematismi differenti, determinati da varie motivazioni e hanno interessato sia elementi architettonici non strutturali, come ad esempio

¹⁰⁰ F. Doglioni, A. Moretti, V. Petrini, *op. cit.*, pp. 225-229.

¹⁰¹ Nei casi esaminati le lanterne sono caratterizzate da aperture in ogni lato, costituite da archi a tutto sesto, le quali occupano la quasi totalità del loro sviluppo verticale.

¹⁰² Secondo Francesco di Giorgio Martini i ponti levatoi “[...] in questa forma fatti che quanto sirà la sua longhezza tanto alto metterai due bilicate travi, dalle quali due catene in nella sommità che piglino la stremità del ponte. E tanto venghi innanzi lo sporto della trave quanto la larghezza d’esso [...]”. E questo medesimo ponte con una sola trave e duplicate catene far si può [...]” (cfr. F. di Giorgio Martini, *Trattato di architettura civile e militare*, Tipografia Chirio e Mina, Torino 1841, p. 16).

Secondo Viollet le Duc i ponti levatoi impostati su muraure alle porte dei castelli, non sono stati impiegati che verso l'inizio del XIV secolo; prima di allora, verso la fine del XIII secolo, venivano usati ponti mobili a contrappesi di tipo basculante distaccati dalle porte, inseriti in barriere in legno poste in posizione avanzata (cfr. E. Viollet le Duc, *op. cit.*, pp. 253-257).

¹⁰³ È stato costruito contemporaneamente alla porta di accesso Sud-Ovest, in sostituzione di un ponte levatoio preesistente.

cornicioni e comignoli, sia elementi strutturali, anzitutto parti sommitali di torrioni, beccatelli ed edifici. I crolli hanno indistintamente riguardato sia parti di fabbrica originarie che elementi appartenenti a cicli costruttivi successivi¹⁰⁴. In alcuni casi la situazione di crollo è stata resa ancor più grave da recenti campagne di restauro. È sufficiente osservare con attenzione quello che è rimasto del torrione nord della *Rocca di San Felice sul Panaro* (**11**) o il loggiato del *Castello delle Rocche* di Finale Emilia (**12**), per poter rilevare in entrambi i casi la presenza di solette armate che invece di consolidare la struttura, sotto sisma, hanno gravato sulle strutture sottostanti con il loro peso e si sono rilevate elementi di accelerazione dei fenomeni di dissesto (figg. 138-139-140).

Dai sopralluoghi effettuati è inoltre emerso che alcuni dei cinematismi innescati dal sisma, sono stati favoriti dalla preesistenza di forme di degrado materico riguardante soprattutto i laterizi e le malte, come ad esempio si è verificato presso la *Rocca dei Gonzaga di Novellara* (**11**) e il *Castello di Galeazza a Crevalcore* (**12**).



Figura 138 - *Torre Nord Rocca di San Felice sul Panaro*. Espulsione delle barre di armatura dal cordolo in C.A. messo in opera durante recenti campagne di restauro.

¹⁰⁴ Come ad esempio il loggiato del Castello delle Rocche di Finale Emilia, costruito dal 1425 al 1430, su progetto di Giovanni da Siena.



Figura 139 - Torre Nord-Ovest Rocca di San Felice sul Panaro. “Effetto seghetta” copertura consolidata con cordolo in C.A. durante recenti campagne di restauro.



Figura 140 - Torre Nord-Est Rocca di San Felice sul Panaro. “Effetto seghetta” copertura consolidata con cordolo in C.A. durante recenti campagne di restauro.

IV CAPITOLO

CINQUE ROCCHE EMILIANE DANNEGGIATE DAL SISMA

4.1 Criteri adottati per la compilazione delle cinque schede di sintesi

Le schede di sintesi messe a punto esclusivamente per cinque casi studio aggiungono ulteriori informazioni, completano ed approfondiscono i dati precedentemente individuati, esposti nelle schede di rilevamento delle tredici strutture fortificate indagate.

Le informazioni già registrate nelle schede di sopralluogo vengono riportate in grigio, mentre quelle ottenute con gli approfondimenti condotti per i cinque casi studio sono riprodotte in nero, quindi rispetto alle schede di rilievo iniziali, in quelle di approfondimento finali, sono state aggiunte o ampliate alcune sezioni.

Il blocco iniziale è rimasto invariato.

Nel secondo è stata aggiunta una sezione che contiene la pianta di fase del manufatto, nella quale vengono campite le varie porzioni della fabbrica storica con tonalità differenti a seconda del periodo di costruzione¹⁰⁵.

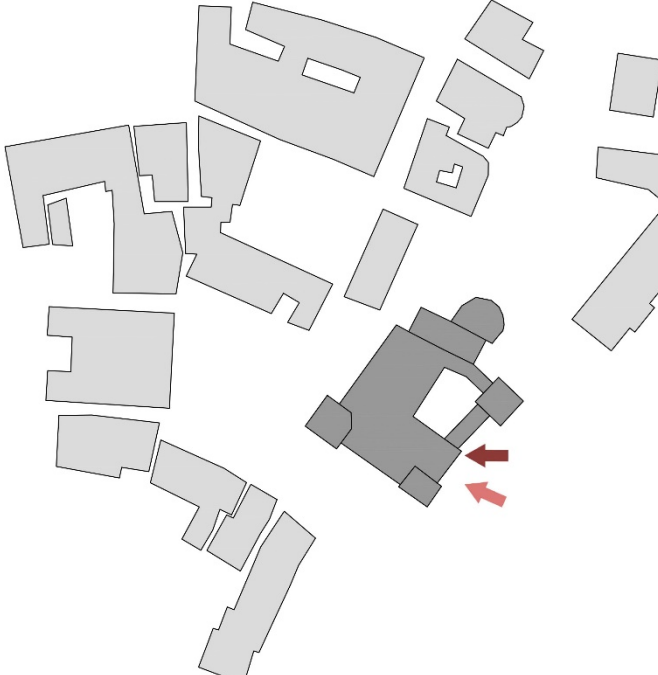
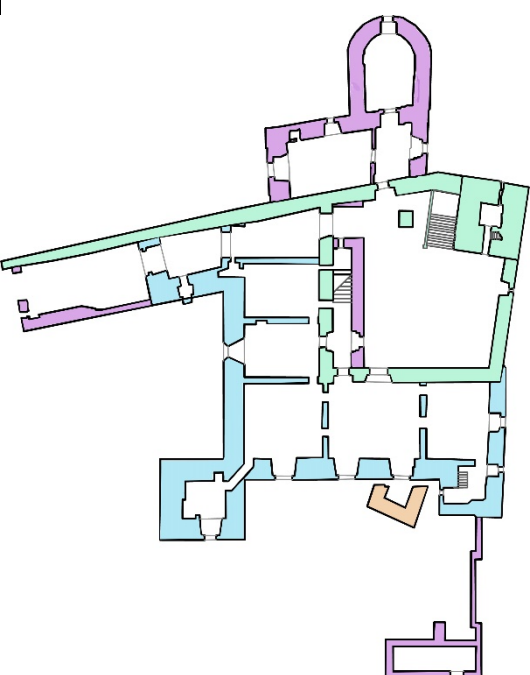
Il terzo blocco è stato ampliato con una sezione relativa i principali interventi di restauro noti, cui è stato sottoposto il complesso fortificato nei secoli e la spiegazione dell'influenza che i consolidamenti hanno avuto nei meccanismi di danno innescatisi. La sezione inerente i cinematismi è stata ampliata attraverso descrizioni approfondite di questi ultimi e completata con: schemi dei meccanismi più importanti verificatisi e fotografie dei quadri fessurativi rilevati (con evidenza delle lesioni più significative). Inoltre nel terzo blocco vengono analizzati anche i cinematismi di danno attesi, ovvero i possibili sviluppi futuri dei cinematismi manifestatisi post sisma.

Il livello di conoscenza dei casi studio che emerge dalle schede di sintesi è intermedio tra il livello speditivo e quello analitico, secondo le definizioni riportate nella vigente normativa in materia¹⁰⁶.

¹⁰⁵ È di fondamentale importanza conoscere le caratteristiche originarie della fabbrica e le modifiche intercorse nel tempo, dovute a fenomeni antropici, a calamità naturali e al degrado materico. Inoltre è essenziale studiare le risposte fornite dal complesso a eventi calamitosi accaduti in passato. La storia del manufatto costituisce infatti un importante mezzo di verifica della risposta che lo stesso edificio è in grado di fornire alle calamità. (Cfr. Ministero per i beni e le attività culturali, CIRCOLARE n. 26 del 2 Dicembre 2010, *op. cit.*, pp. 37, 42-43).

¹⁰⁶ Le informazioni acquisite mediante le schede di sintesi infatti sono alcune di quelle elencate nei MODULI B e C delle schede previste dal Ministero per i Beni e le Attività Culturali per esporre sistematicamente le conoscenze relative al patrimonio culturale italiano. Sono stati catalogati tutti i dati rilevabili dall'osservazione diretta delle fabbriche e dalle ricerche storiche ad esse correlate, propedeutico al raggiungimento del livello di conoscenza speditivo. Sono state inoltre affinate le conoscenze di tipo geometrico, materico e costruttivo dei manufatti, tuttavia non potendo effettuare analisi *in situ* o in laboratorio, non è stato possibile studiare le cinque rocche a livello analitico. (Cfr. Ministero per i beni e le attività culturali, CIRCOLARE n. 26 del 2 Dicembre 2010, *op. cit.*, pp. 129).

4.1.1 La Rocca di Vignola

<p>LUOGO: Vignola (MO) INDIRIZZO: Piazza dei Contrari, 4 COORDINATE GEOGRAFICHE: Latitudine_44° 28' 35.48" Longitudine_ 11° 0' 37.22" DESTINAZIONE: difensivo-militare. A partire dal XV sec. residenziale. Utilizzata come prigione nella seconda metà del XX sec. USO ATTUALE: museo di sé stessa, laboratori didattici, centro congressi, ecc. PROPRIETÀ: Fondazione di Vignola</p>	 <p>Fig. 1 - Planimetria della Rocca di Vignola, inserita nell'attuale contesto. In bordeaux direzione sisma del 20 maggio, in rosa direzione scossa del 29 maggio</p>
<p>NOTIZIE STORICHE: la Rocca a pianta irregolare attualmente visibile, è frutto di più fasi costruttive. Il nucleo più antico risale al VIII sec. Importanti modifiche costruttive si sono susseguite fino al XVI sec. AUTORE: -</p>	<p>DESCRIZIONE: Il manufatto è costituito dall'assemblaggio irregolare di vari corpi. Il recinto murario, costruito da edifici e cortine murarie, è completato a Nord da una roccetta a pianta semicircolare e agli angoli Sud-Ovest, Sud-Est e Nord-Est da torri a pianta quadrangolare.</p>
<p>PIANTA DI FASE</p> <div style="display: flex; align-items: flex-start;">  <div style="margin-left: 20px;"> <p>LEGENDA</p> <ul style="list-style-type: none"> IX o XII sec. IX-X o XIII sec. XIII-XIV sec. XV-XVI sec. </div> </div>	

<p>ELEMENTI ARCHITETTONICI (PRIMARI)</p> <p><i>MASTIO:</i> -</p> <p><i>TORRI MAESTRE:</i> torri a pianta quadrangolare presenti agli angoli Sud-Est, Sud-Ovest e Nord-Est del manufatto. Più alte rispetto la copertura del complesso.</p> <p><i>TORRI PORTAIE:</i> -</p> <p><i>COPERTURE:</i> secondo quanto accertabile dai sopralluoghi effettuati, manto di copertura in coppi, sorretto da struttura lignea.</p> <p><i>VOLTE:</i> in sede di sopralluogo è stato possibile rilevare la presenza di sistemi voltati, realizzati utilizzando laterizi.</p> <p><i>MURI A SCARPA:</i> hanno inclinazione variabile secondo il tipo di elemento architettonico di appartenenza.</p> <p><i>FOSSATI:</i> oggi non più visibili, la conformazione del terreno in alcuni punti ne lascia intuire la preesistenza.</p>	<p>ELEMENTI ARCHITETTONICI (SECONDARI)</p> <p><i>MERLI:</i> perimetrano completamente le torri. Hanno profilo non rettilineo (merli ghibellini) e sostengono la copertura.</p> <p><i>BECCATELLI:</i> presenti lungo tutto il perimetro delle torri e della maggior parte degli altri corpi presenti. Ognuno di essi in prospettiva termina con un arco a tutto sesto.</p>
<p>MATERIALI</p> <p><i>PIETRA:</i> in tutti i macroelementi la pietra è stata utilizzata insieme ai laterizi. Solamente la parete Nord del loggiato ubicato in zona Ovest è costituita in toto da pietrame di origine fluviale.</p> <p><i>LATERIZIO:</i> tutti gli elementi architettonici della rocca sono stati realizzati utilizzando laterizi in argilla cotti e pietre di origine fluviale, messi in opera mediante malte di calce.</p> <p><i>LEGNO:</i> utilizzato nei pacchetti di copertura di torrioni, camminamenti di ronda ed edifici.</p>	
<p>TECNICHE COSTRUTTIVE I paramenti murari esterni sono stati costruiti utilizzando materiali diversi, non sono omogenei e variano spesso anche all'interno di uno stesso elemento architettonico. Le caratteristiche dei corsi e la tessitura pertanto hanno proprietà diverse secondo la porzione presa in esame.</p>	
<p>INTERVENTI DI RESTAURO PRE-SISMA: Il manufatto è stato oggetto di varie campagne di restauro nei primi anni del nuovo millennio. Gli interventi più importanti realizzati sono stati:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Consolidamento delle pareti affrescate del Loggiato; - Miglioramento strutturale della Rocchetta Nord mediante il recupero della copertura, il consolidamento di porzioni di muratura e il rifacimento dell'impiantistica. <p>INTERVENTI DI RESTAURO POST-SISMA: Oltre alla messa in opera dei presidi provvisori, è stata realizzata un'altra campagna di restauro (Dicembre 2014 - Agosto 2015), che comprende:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rafforzamento del piano di guardia con rimozione manto di copertura, rifacimento struttura portante e rafforzamento collegamento orditura-muratura; - Rinsaldamento della muratura d'appoggio con posa di cordolo in legno; - Cerchiatura sotto il piano di calpestio del piano di guardia con la posa di profilati in acciaio che lavoreranno come catene; - Recupero delle caditoie, lo spazio libero tra caditoie successive è stato coperto con un telaio in acciaio e vetro. 	

CINEMATISMI DI DANNO:

1 – Ribaltamento fuori dal piano apparato a sporgere: in corrispondenza della parte sommitale della parte Sud-Ovest (si veda **A1**).

I beccatelli della torre Sud–Ovest hanno preso parte ad un meccanismo di ribaltamento fuori dal piano, verso l'esterno. Sono stati coinvolti anche i merli sovrastanti.

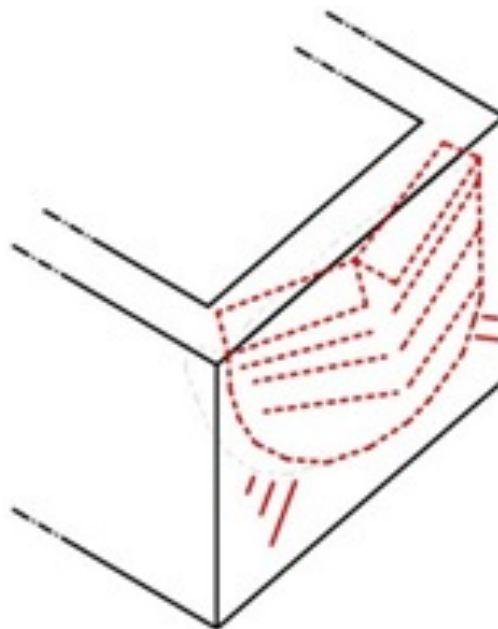
Le uniche lesioni visibili sono nel lato Nord della torre in oggetto: trattasi di tre lesioni non passanti, collocate nella fascia muraria compresa tra la linea di stacco dei beccatelli e quella di inizio dei merli. La fessurazione centrale, ad andamento all'incirca verticale, coincide con la linea di mezzeria della facciata. Essa si restringe andando dall'alto verso il basso. Le altre due lesioni, simmetriche rispetto la linea scandita dalla lesione appena presa in oggetto, hanno andamento diagonale: si distanziano dal centro scendendo verso il basso.

L'interpretazione del quadro fessurativo permette di capire che la parete ha risposto alla componente dell'azione sismica ad essa perpendicolare, in maniera simmetrica rispetto la mezzeria. Si sono manifestate in questa maniera tante cerniere cilindriche aventi forma di arco, tra loro parallele. Tutti i punti di chiave degli archi creatisi, delineano la fessura di mezzeria.

2 – Flessione orizzontale di parete: in corrispondenza della torre Nord-Est o *Torre Nonantolana* (si veda **E1**).

In corrispondenza del cuneo murario in cui è appoggiato il puntone Nord–Est della copertura, è stato rilevato un quadro fessurativo costituito da un insieme di lesioni non passanti, caratterizzate da andamento diagonale nella parete Nord e da direzione circa verticale nella parete Est. Tutte le fessure hanno spessore pari approssimativamente a 1 cm.

Gli appoggi elementi lignei–muratura non ottimali, hanno determinato le dimensioni del cuneo di distacco nella parete parallela alla direzione del sisma e lo sfilamento delle orditure, accompagnato dall'eventuale ribaltamento della parete, nel muro con direzione ortogonale a quella del sisma.



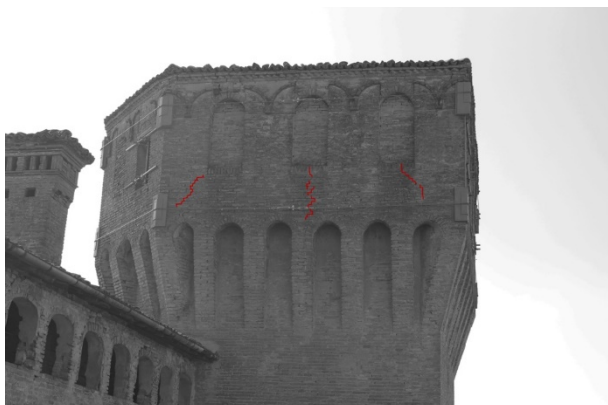


Fig. 2 – Cinematismo n.1



Fig. 3 – Cinematismo n.2

CINEMATISMI DI DANNO ATTESI

Crollo della parte sommitale della torre Sud-Ovest, distacco e ribaltamento del cuneo murario della *Torre di Nonantola*.

INFLUENZA DEGLI INTERVENTI DI RESTAURO NEI CINEMATISMI DI DANNO

La scarsità di informazioni inerenti le campagne di restauro realizzate antecedentemente gli eventi sismici del 2012 non ha permesso di rilevare alcuna correlazione tra le opere di consolidamento e i cinematismi di danno innescatisi.

INTERVENTI DI PRESIDIO POST SISMA 2012:

- Puntelli metallici in corrispondenza delle aperture e cerchiature (trefoli in acciaio), in corrispondenza delle parti sommitali delle torri Sud-Ovest e Nord-Est.

BIBLIOGRAFIA:

- Romani G., Vicini M., *La Rocca di Vignola*, Fondazione di Vignola, Vignola (MO) 2001.
- Tiraboschi G., *Memorie storiche modenesi*, Società Tipografica, Modena 1793.
- Mantovi F., Guida alle rocche ed ai castelli della provincia di Modena, Cooptip, Modena 1969, pp. 72-81.

SITOGRAFIA: -

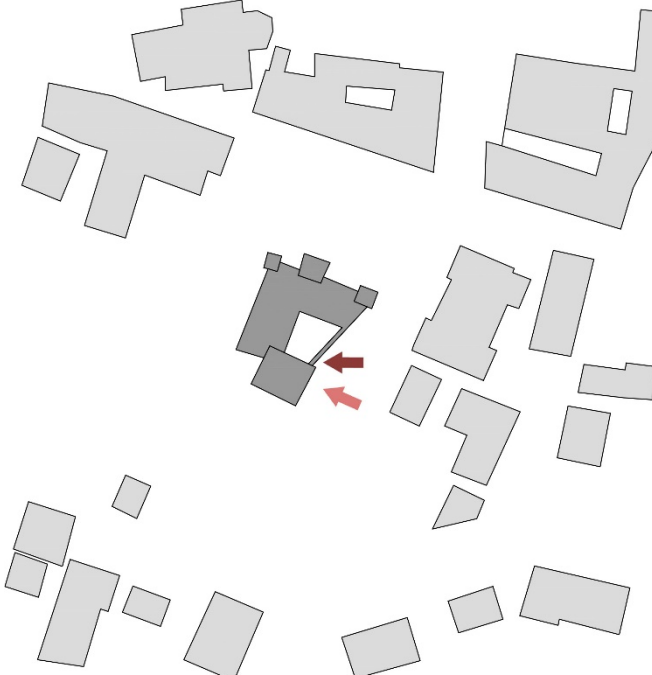
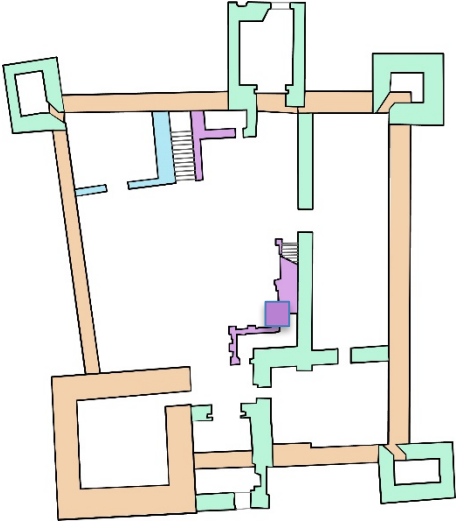
ARCHIVI:

- A.S.A.B.A.P. Bologna, Ferrara, Modena e Reggio Emilia, Rocca di Vignola, anni 1932-2005.

RILIEVO FOTOGRAFICO



4.1.2 La Rocca Estense di San Felice sul Panaro

<p>LUOGO: San Felice sul Panaro (MO) INDIRIZZO: Viale G. Campi, 31 COORDINATE GEOGRAFICHE: Latitudine_44° 50' 20.29" Longitudine_11° 8' 32.97" DESTINAZIONE: difensivo-militare. Mai utilizzata come residenza. USO ATTUALE: sede culturale e istituzionale PROPRIETÀ: Comune di San Felice sul Panaro</p>	 <p>Fig. 1 – Planimetria della Rocca Estense, inserita nell'attuale contesto. In <i>bourdeaux</i> direzione sisma del 20 maggio, in rosa direzione scossa del 29 maggio</p>
<p>NOTIZIE STORICHE: il complesso è costituito da vari elementi, costruiti in epoche differenti. La parte più antica risale al XIV sec. ed è formata dal mastio e dalla cinta muraria. Tra la fine del XIV sec. e l'inizio del XV sec. sono state costruite tutte le torri presenti e gli altri corpi di fabbrica. Risalgono invece al XX sec. i corpi scala presenti. AUTORE: -</p>	<p>DESCRIZIONE: Il manufatto è costituito da più corpi, disposti a pianta poligonale. In corrispondenza della facciata Nord, si ergono tre torri: due angolari e quella centrale portaia. Il mastio occupa invece l'angolo Sud-Est del manufatto. Gli elementi architettonici presenti formano una piccola corte interna.</p>
<p>PIANTA DI FASE</p>  <div data-bbox="901 1556 1356 1825"> <p>LEGENDA</p> <ul style="list-style-type: none"> XIV sec. Fine XIV sec. inizio XV sec. XX sec. </div>	

<p>ELEMENTI ARCHITETTONICI (PRIMARI)</p> <p><i>MASTIO:</i> presenta dimensioni sia in pianta che in alzato superiori alle altre torri. È situato a Sud-Est del complesso.</p> <p><i>TORRI MAESTRE:</i> torri angolari che occupano i due angoli della facciata Nord. Più alte rispetto la copertura del complesso, ma con altezza inferiore rispetto il mastio e la torre portaia.</p> <p><i>TORRI PORTAIE:</i> occupa parte della facciata Nord del manufatto, presenta la stessa altezza delle torri angolari, ma planimetricamente ha dimensioni superiori.</p> <p><i>COPERTURE:</i> secondo quanto accertabile dai sopralluoghi effettuati, manto di copertura in coppi, sorretto da struttura lignea e presenza di cordolo in C.A.</p> <p><i>VOLTE:</i> non accertabili in sede di sopralluogo, a causa dell'inagibilità di tutta la fortificazione. Presenza di strutture voltate accertata dagli elaborati grafici ricevuti.</p> <p><i>MURI A SCARPA:</i> rilevabili in tutte le torri presenti, ad eccezione della torre portaia, nella quale l'attacco a terra è costituito da muri perfettamente a piombo.</p> <p><i>FOSSATI:</i> chiusi in antichità e parzialmente riaperti nel corso del XX sec.</p>	<p>ELEMENTI ARCHITETTONICI (SECONDARI)</p> <p><i>MERLI:</i> rimangono esclusivamente nel mastio. Non hanno profilo rettilineo (merli ghibellini) e sorreggono il pacchetto di copertura.</p> <p><i>BECCATELLI:</i> presenti lungo tutto il perimetro del mastio e nella facciata Nord. Ognuno di essi in prospetto termina con un arco a sesto acuto.</p>
<p>MATERIALI</p> <p><i>PIETRA:</i> -</p> <p><i>LATERIZIO:</i> tutti gli elementi architettonici della rocca sono stati realizzati utilizzando laterizi in argilla cotti, messi in opera mediante malte di calce.</p> <p><i>LEGNO:</i> solaio di copertura a doppia orditura.</p>	
<p>TECNICHE COSTRUTTIVE</p> <p>I paramenti murari esterni sono omogenei, a corsi regolari. Anche la tessitura risulta abbastanza regolare. Dall'analisi degli spaccati murari messi in evidenza in seguito ai crolli manifestatisi, è emerso che i muri possiedono spessori elevati e sono muri pieni, costituiti da vari livelli, affiancati e spesso non ben ammorsati. Non è possibile ricavare informazioni aggiuntive in quanto la Rocca, al momento dei sopralluoghi, era inagibile.</p>	
<p>INTERVENTI DI RESTAURO: il manufatto è stato oggetto di varie campagne di restauro. Vanno</p> <ul style="list-style-type: none"> - 1960: cordoli in C.A. in corrispondenza delle torri Ovest. - 1990: <ul style="list-style-type: none"> - inserimento di barre in acciaio e piastre di ancoraggio in corrispondenza della parte sommitale della facciata Sud del mastio; - cordolo perimetrale in C.A. in corrispondenza del primo solaio della torre Nord. 	

CINEMATISMI DI DANNO:

1 – *Ribaltamento fuori dal piano con cerniera cilindrica:* lesioni orizzontali in corrispondenza della parte di spicco dei beccatelli dell'edificio Nord (si veda **C1**).

Il quadro fessurativo manifestatosi è unico fra tutti i casi di studio catalogati. Il punto di stacco dei beccatelli, cioè la linea che immaginariamente collega i conci di chiave degli archi che disegnano il profilo di questi ultimi, viene palesata da un insieme di lesioni continue. L'andamento pressoché orizzontale di queste ultime lascia intuire la presenza di un cordolo ligneo, all'interno dei bancali in muratura dell'apparato a sporgere, che si è comportato come una cerniera orizzontale, causa dell'innescò del ribaltamento di tutti gli apparati sovrastanti.

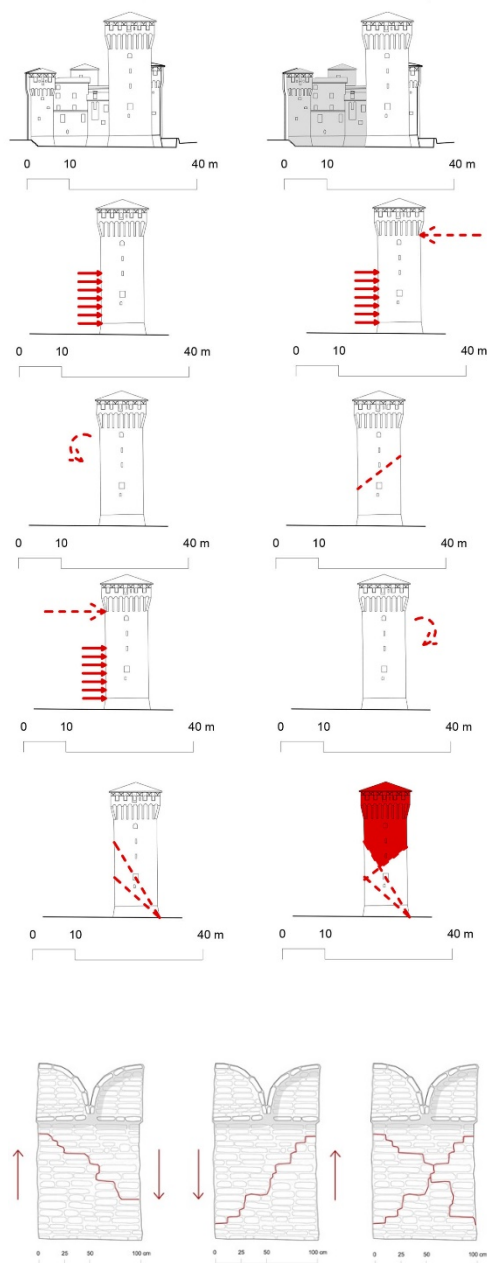
2 – *Ribaltamento composto fuori dal piano corpo principale: mastio* (si veda **D1**).

Il *mastio*, unica torre non interessata da alcun crollo, presenta un quadro fessurativo che evidenzia un cinematismo di danno composto da un più fenomeni di ribaltamento. Le lesioni principali interessano esclusivamente la parte inferiore del macroelemento architettonico, cioè un volume avente altezza pari a circa la metà di quella totale. Sono inclinate di $+45^\circ$ e -45° . In risposta alle oscillazioni indotte dal sisma, il *mastio* ha reagito anche in funzione dei vincoli laterali prodotti dagli elementi ad esso affiancati ad Ovest e invece verso Est la completa assenza di altri manufatti gli ha permesso di oscillare in libertà a tutt'altezza.

È possibile ipotizzare che la parte superiore non si sia lesionata limitatamente, in quanto la porzione inferiore ha dissipato un quantitativo di energia, come se fosse un isolatore sismico.

3 – *Meccanismo da taglio merlature: mastio*, unica torre con parte sommitale che non ha subito crolli (si veda **I1**).

Nei merli del *mastio* sono riscontrabili le classiche lesioni a 45° , dovute all'azione di forze taglienti agenti sotto sisma. I rilievi effettuati mettono anche in evidenza l'espulsione di materiale,



avvenuta simmetricamente rispetto la mezzeria di ciascun merlo interessato.

4 – *Meccanismi da cattivo ammorsamento torri-mura di cinta*: in corrispondenza della torre Nord-Est e delle mura di cinta (si veda **H1**).

Le possibili cause che hanno innescato il fenomeno di dissesto, oltre alle differenti caratteristiche meccanico-geometriche di cortine e torrioni, ovvero altezze e spessori differenti, quindi snellezze variabili, potrebbero essere ricercate in un vizio costruttivo: i paramenti murari non risultano ben ammorsati lungo i vertici presenti tra mura di cinta e torri maestre, come evidenziato anche da un'attenta analisi dei corsi murari.

5 – *Meccanismi da presenza pesanti cordoli o solette in C.A.* “*effetto seghetta*”: sgretolamento manifestatosi in corrispondenza del lato Est della torre Nord (si veda **I1**).

La congiunzione tra la facciata Est della torre Nord e la cortina muraria adiacente, è caratterizzata, oltre che dal distacco torrione-cinta muraria, anche da lesioni con andamento diagonale, passanti e diffuse in tutto il paramento murario non interessato da crolli. Gran parte del lato Est della torre perimetrale in oggetto è infatti crollato, mettendo in evidenza i solai latero-cementizi, opera degli interventi del 1960. Gli antichi paramenti murari si sono mostrati tanto possenti quanto vulnerabili: non hanno resistito al “*effetto seghetta*” innescato dagli elementi in C.A.



Fig. 2 – Cinematismo n.3



Fig. 3 – Cinematismo n.1



Fig. 3 – Cinematismo n.2

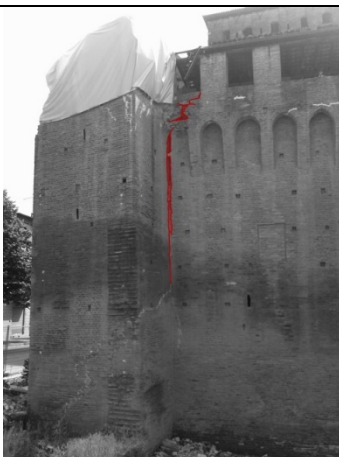


Fig. 3 – Cinematismo n.4

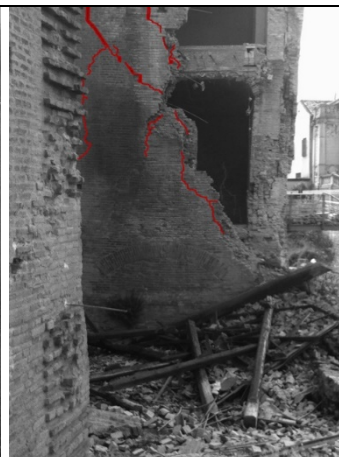


Fig. 3 – Cinematismo n.5

CINEMATISMI DI DANNO ATTESI

Ribaltamento completo della porzione sovrastante le lesioni ad andamento orizzontale dell'edificio ubicato a Nord del complesso.

Il progredire degli altri cinematismi potrebbe generare ulteriori crolli.

INFLUENZA DEGLI INTERVENTI DI RESTAURO NEI CINEMATISMI DI DANNO

L'iterazione tra cordolo perimetrale in C.A. e paramenti murari della torre Nord, ha causato ingenti crolli in quest'ultimo elemento architettonico.

Le barre e le piastre in acciaio messe in opera nella parte sommitale del *mastio*, sono correlabili al quadro fessurativo riscontrato nella parte inferiore di quest'ultimo.

INTERVENTI DI PRESIDIO POST SISMA 2012:

- Cerchiature e trefoli metallici in corrispondenza delle parti sommitali del mastio, all'altezza del punto di stacco dei beccatelli ed a mezz'altezza dei merli.
- Capochiave metallici, nella parte media del mastio.
- Le aperture collocate in corrispondenza della parte basamentale del mastio, sono state preservate mediante puntelli lignei.
- Nella parte superiore del mastio, è stata montata in opera una rete parasassi, per evitare la caduta a terra di macerie.
- Le parti sommitali delle tre torri che occupano la parte Nord del complesso, sono state coperte da teli plastificati.
- Le lesioni manifestatesi nella parte principale del mastio, sono state riempite con malta.
- Trefoli metallici inseriti nel mastio e in tutte le torri.
- Trefoli metallici iniettati nelle murature.

BIBLIOGRAFIA:

- Calzolari M., Campagnoli P., Frison C., a cura di, *La rocca estense di San Felice sul Panaro*, Gruppo Bassa Modenese, San Felice sul Panaro (MO) 1994.
- Costa Giani P., *Memorie storiche di San Felice sul Panaro*, Banca Popolare di San Felice sul Panaro, Modena 1978.
- Gulinelli V., *Il Castello di San Felice sul Panaro e le fosse del castello: da ricerche d'archivio*, notizie urbanistiche, storiche e di cronaca, LI.PE., San Giovanni in Persiceto (BO) 1994.
- Poletti M., a cura di, *Le cartoline di San Felice sul Panaro*, Gruppo Studi Bassa Modenese, San Felice sul Panaro (MO) 2005.

SITOGRAFIA:

- http://tecnico.comunesanfelice.net/poc/doc_geo/poc1_2.pdf, ultima consultazione 14 Febbraio 2015.

- <http://www.comunesanfelice.net/>, ultima consultazione 08 Giugno 2015.

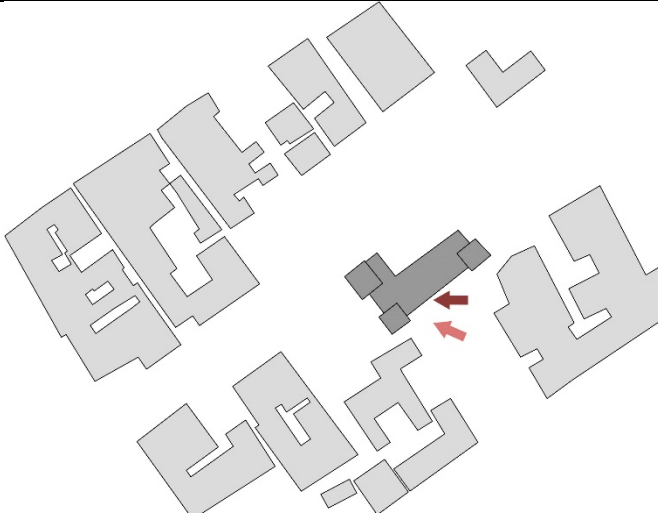
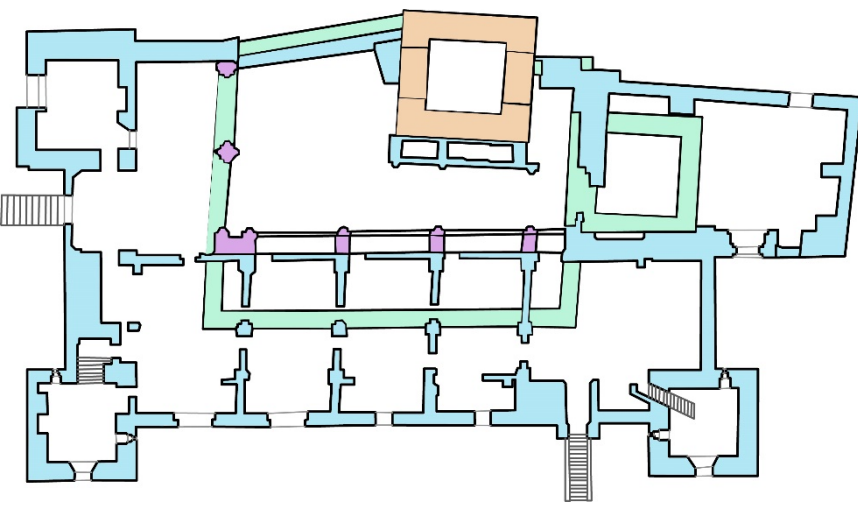
ARCHIVI:

- A.S.A.B.A.P. Bologna, Ferrara, Modena e Reggio Emilia, Rocca di San Felice sul Panaro, anni 1960-2005.

RILIEVO FOTOGRAFICO



4.1.3 Il Castello delle Rocche di Finale Emilia

<p>LUOGO: Finale Emilia (MO)</p> <p>INDIRIZZO: Piazza Antonio Gramsci, 2/A</p> <p>COORDINATE GEOGRAFICHE: Latitudine_44° 49' 58.88" Longitudine_ 11° 17' 49.17"</p> <p>DESTINAZIONE: difensivo-militare, residenziale e prigione.</p> <p>USO ATTUALE: polo culturale e sede del Museo Civico</p> <p>PROPRIETÀ: Comune di Finale Emilia</p>	 <p>Fig. 1 – Planimetria del Castello delle Rocche, inserita nell'attuale contesto. In <i>bordeaux</i> direzione sisma del 20 maggio, in <i>rosa</i> direzione scossa del 29 maggio</p>
<p>NOTIZIE STORICHE: la Rocca attualmente visibile è frutto di varie fasi costruttive. La parte più antica è costituita dal mastio (o Torre dei Modenesi), eretto nel XIII sec. All'inizio del secolo successivo invece risale il primo nucleo fortificato. La Rocca a pianta poligonale, con torri angolari viene attribuita all'opera dell'arch. Bartolino da Novara (a partire dal 1402) e l'aggiunta successiva del portico sulla corte interna, risale al 1425, per opera dell'arch. Giovanni da Siena.</p> <p>AUTORE: Bartolino Ploti da Novara (rocca del 1402) e Giovanni da Siena (loggiate del 1425)</p>	<p>DESCRIZIONE: Il manufatto è costituito da più corpi, disposti a pianta poligonale. In ogni angolo del complesso, ad eccezione di quello a Nord-Est, sorge una torre angolare. Nella facciata Nord si erigeva il mastio (completamente distrutto dal sisma).</p>
<p>PIANTA DI FASE</p>  <div data-bbox="1173 1512 1348 1545"> LEGENDA </div> <ul data-bbox="1061 1579 1348 1848" style="list-style-type: none"> Inizio XIII sec. Inizio XIV sec. 1402 1425 	

<p>ELEMENTI ARCHITETTONICI (PRIMARI)</p> <p><i>MASTIO</i>: presenta dimensioni sia in pianta che in alzato superiori alle altre torri. È situato a Nord del complesso.</p> <p><i>TORRI MAESTRE</i>: torri a pianta quadrangolare, presenti su ciascun angolo del manufatto, ad eccezione di quello a Nord-Est. Più alte rispetto la copertura del complesso.</p> <p><i>TORRI PORTAIE</i>: rivellino ubicato in mezzzeria della facciata Sud del maniero. Questo elemento è alto quanto l'edificio Sud.</p> <p><i>MURI A SCARPA</i>: lo studio delle proporzioni degli elementi lascia ipotizzare che in origine l'attacco a terra era costituito da muri a scarpa.</p> <p><i>FOSSATI</i>: seguivano il perimetro della rocca, ma sono stati chiusi e oggi non sono più visibili, ad eccezione della particolare forma del terreno in corrispondenza della facciata Sud, che ne testimonia la passata esistenza.</p> <p><i>COPERTURE</i>: variano da porzione a porzione. In alcune parti sono costituite da manto di copertura in coppi, sorretto da struttura lignea, mentre in altre parti si hanno solai latero-cementizi.</p> <p><i>VOLTE</i>: in sede di sopralluogo è stato possibile accertare solo parzialmente i sistemi voltati, a causa dell'inagibilità del maniero. Dagli elaborati grafici emerge tuttavia la presenza di volte a botte.</p>	<p>ELEMENTI ARCHITETTONICI (SECONDARI)</p> <p><i>MERLI</i>: il perimetro delle torri è coronato da merli con profilo non rettilineo (merli ghibellini), non liberi, in quanto costituiscono la base di appoggio per i pacchetti di copertura. Anche nel rivellino è presente la stessa tipologia di merli, ma in questo caso sono liberi. Merli con profilo non rettilineo, non liberi, sono presenti anche nel corpo addossato alla torre Nord-Ovest.</p> <p><i>BECCATELLI</i>: presenti lungo tutto il perimetro delle torri, del rivellino e del corpo addossato alla torre Nord-Ovest. Ognuno di essi in prospetto termina con un arco trilobato.</p>
<p>MATERIALI</p> <p><i>PIETRA</i>: elementi decorativi.</p> <p><i>LATERIZIO</i>: tutti gli elementi architettonici della rocca sono stati realizzati utilizzando laterizi in argilla cotti, messi in opera mediante malte di calce.</p> <p><i>LEGNO</i>: in alcune porzioni del manufatto, utilizzato per le travi del solaio di copertura.</p>	
<p>TECNICHE COSTRUTTIVE</p> <p>I paramenti murari esterni sono omogenei, a corsi regolari. Anche la tessitura risulta abbastanza regolare. Dall'analisi delle creste murarie messe in evidenza in seguito ai crolli manifestatisi, è emerso che i muri possiedono spessori molto elevati e sono muri pieni, costituiti da vari livelli, tra loro affiancati e non ammorsati.</p>	
<p>INTERVENTI DI RESTAURO: Il manufatto è stato oggetto di varie campagne di restauro.</p> <ul style="list-style-type: none"> - 1896: abbattimento della torre Sud-Ovest e insabbiamento dei canali. - 1960: realizzazione delle coperture in C.A. delle quattro torri. - 1980: <ul style="list-style-type: none"> - Costruzione di contrafforti in C.A. in corrispondenza della facciata Est (ancora oggi visibili anche dall'esterno); - Sostituzione delle orditure lignee con putrelle in acciaio o lastre in C.A.; 	

- Inserimento di tiranti in acciaio in corrispondenza della facciata Sud;
- Cordoli perimetrali in C.A. all'estradosso delle volte presenti nelle torri.
- 2005: risanamento dall'umidità delle pareti in muratura ubicate a Nord-Ovest.
- 2010:
 - Inserimento di tiranti in acciaio nella parte sommitale delle torri Sud-Est e Sud-Ovest;
 - Cuci-scuci di alcune porzioni degli elementi murari appartenenti alle parti superiori delle torri Sud-Est e Sud-Ovest e della facciata Sud-Est.
 - Inserimento di barre in acciaio con funzione paragonabile a quella dei diatoni, in corrispondenza della cortina Sud-Est.

CINEMATISMI DI DANNO:

1 – Ribaltamento fuori dal piano apparato a sporgere: in corrispondenza dei merli e dei beccatelli relativi alle torri Sud-Est e Sud-Ovest (si veda **A2**).

È stata rilevata la presenza di *fessure* passanti che partono dal punto di giunzione dell'estremità superiore del beccatello alla cortina muraria e, con andamento obliquo, verso l'esterno e verso il basso, discendono fino a raggiungerne circa un terzo dell'altezza ed un terzo dello spessore massimo. L'analisi del quadro fessurativo sopra descritto, ha permesso di constatare, nelle torri Sud - Est e Sud - Ovest, l'avvenuto innesco di un cinematismo di *fuoriuscita dal piano* e di *ribaltamento verso l'esterno* dei beccatelli e dei merli sovrastanti.

I beccatelli più sollecitati e quindi maggiormente danneggiati, sono stati quelli collocati in posizione isolata rispetto l'intera fabbrica storica, poiché non avevano in adiacenza elementi architettonici in grado di contrastarne le oscillazioni indotte dagli eventi tellurici. Per questo nelle *torri* i beccatelli più danneggiati sono quelli laterali, prospicienti verso l'esterno.

2 – Meccanismi da presenza pesanti cordoli o solette in C.A. "effetto seghetta": hanno interessato le parti sommitali delle torri, il mastio e il loggiato di Giovanni da Siena (si veda **I2**).

I meccanismi in oggetto hanno interessato il *mastio* nella sua interezza e la *torre Nord-Ovest* esclusivamente dalla linea di stacco dei *beccatelli* in su. Sono stati causati sia dall'utilizzo di tecniche costruttive poco appropriate sia dall'incompatibilità di alcuni interventi di restauro.

3 – *Meccanismi da taglio merlature*: merli non liberi dei torrioni (si veda **G2**).

I merli afferenti tutte le parti sommitali dei *torrioni* non crollati, ovvero quelli relativi le *torri* Sud - Ovest e Sud - Est, hanno riportato le classiche *lesioni a 45°*, dovute alla presenza di forze taglienti. Le forze sismiche hanno innescato *cinematismi di danno esclusivamente nelle merlature non libere*, ovvero quelle che sostenevano pacchetti di copertura. Il comportamento sismico dei merli è influenzato in maniera negativa dalle *modifiche avvenute in epoche successive* a quella di costruzione.



Fig. 2 – Cinematismo n.1



Fig. 3 – Cinematismo n.3

CINEMATISMI DI DANNO ATTESI

Il progredire dei meccanismi di ribaltamento descritti al cinematismo n. 1 e di quelli da taglio di cui al cinematismo n. 3, potrebbe portare al crollo delle parti sommitali delle *torri* Sud.

INFLUENZA DEGLI INTERVENTI DI RESTAURO NEI CINEMATISMI DI DANNO

L'inserimento di elementi rigidi e pesanti in quota, quali ad esempio lastre e cordoli in C.A. in copertura, ha provocato crolli ingenti delle parti sommitali delle *torri*, del *mastio* e del *loggiate*.

INTERVENTI DI PRESIDIO POST SISMA 2012:

- Puntelli e paraspigoli lignei, cerchiature e trefoli metallici, in corrispondenza delle parti sommitali del rivellino e delle merlature dei torrioni Sud-Est e Sud-Ovest.
- Copertura in ondulina metallica, sorretta da una struttura anch'essa metallica, installate per evitare il progredire dei cinematismi di danno interessanti i reperti della torre Nord-Ovest, appoggiate sulle creste murarie preservatesi.

BIBLIOGRAFIA:

- Angelo S., Bertuzzi G., *Finale Emilia: popolo e castello*, Edizione Aedes Muratoriana, Modena 1985.
- Belloi P., Colombini E., *Castelli della provincia di Modena*, Elis Colombini Editore, Modena 2001, pp. 188-195.
- Calzolari M., Righini M., Tusini G.L., *Le rocche di Finale in età estense*, Baraldini, Finale Emilia (MO) 2009.
- Gigli P., *La Rocca Estense di Finale Emilia*, C.A.R.C., Finale Emilia 1976.
- Righini M., *Per la mia Fè: castelli e arte militare in area estense tra Medioevo e Rinascimento: atti della giornata di studio, sabato 26 Settembre 2009, Finale Emilia, Palazzo Comunale, Gruppo Studi Bassa Modenese, San Felice sul Panaro (MO) 2010.*
- Righini M., *Le rocche e le fortificazioni di Finale Emilia e San Felice sul Panaro nel XV secolo*, in "Castellum", 2014, n. 55, pp. 17-26.

SITOGRAFIA:

- <http://www.comunefinale.net>, ultima consultazione 08 Giugno 2015.

ARCHIVI:

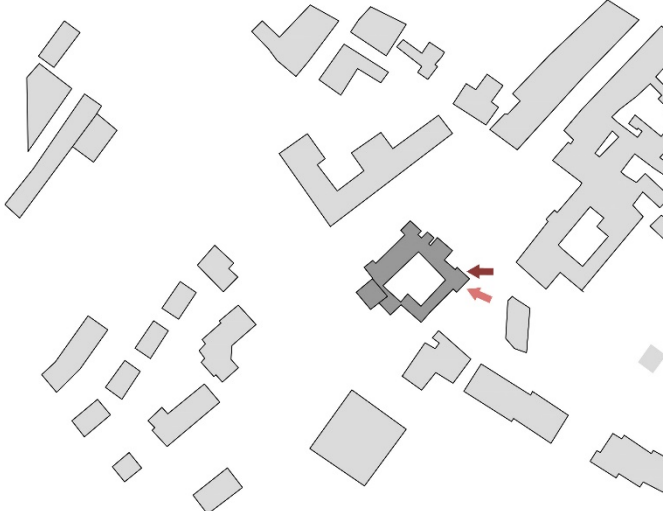
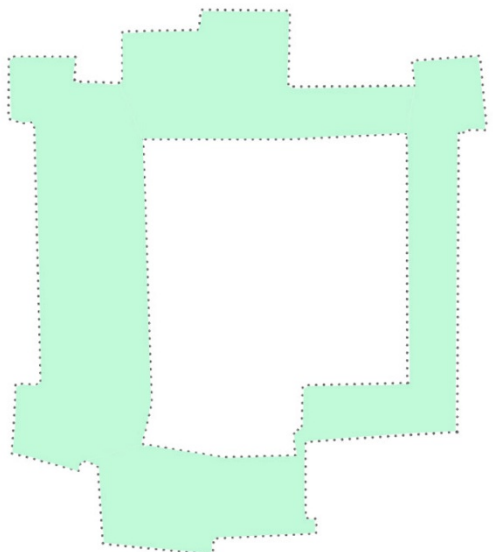
- A.S.A.B.A.P. Bologna, Ferrara, Modena e Reggio Emilia, Rocca di Finale Emilia, anni 1896-2010.

RILIEVO FOTOGRAFICO





4.1.4 La Rocca di Cento

<p>LUOGO: Cento (FE) INDIRIZZO: Piazzale della Rocca, 17 COORDINATE GEOGRAFICHE: Latitudine_44° 42' 42.89" Longitudine_ 11° 18' 19.99" DESTINAZIONE: difensivo-militare e prigione. USO ATTUALE: sede di mostre e manifestazioni culturali e gastronomiche PROPRIETÀ: Comune di Cento</p>	 <p>Fig. 1 – Planimetria della Rocca di Cento, inserita nell'attuale contesto. In <i>bordeaux</i> direzione sisma del 20 maggio, in <i>rosa</i> direzione scossa del 29 maggio</p>
<p>NOTIZIE STORICHE: la Rocca è frutto di varie fasi storiche. Il manufatto attualmente visibile risale probabilmente al XV sec. ed è stato ricostruito sul sedime di una struttura fortificata eretta nel XIII sec. AUTORE: -</p>	<p>DESCRIZIONE: Il manufatto è costituito da tre torri angolari (a pianta quadrangolare), un mastio e una torre portaia, collegati tra loro da cortine murarie ed edifici. I vari elementi sono assemblati in pianta in maniera poligonale. Descrivono al centro una corte interna.</p>
<p>PIANTA DI FASE</p>  <p>LEGENDA</p> <p>■ Elementi rimaneggiati nel XV sec.</p>	
<p>ELEMENTI ARCHITETTONICI (PRIMARI) MASTIO: a pianta quadrangolare, occupa la zona Sud-Ovest del complesso. Presenta dimensioni maggiori, sia in pianta che in alzata, delle altre tipologie di torri presenti.</p>	<p>ELEMENTI ARCHITETTONICI (SECONDARI) MERLI: sono presenti lungo il perimetro di tutti gli elementi architettonici. Non presentano profilo rettilineo, ma curvilineo (merli ghibellini) e sostengono i pacchetti di copertura.</p>

<p>TORRI MAESTRE: a pianta quadrangolare, sono presenti in corrispondenza degli angoli Nord, Ovest ed Est del manufatto. Sono tutte alte uguali e superano il livello di copertura di edifici e cinte murarie.</p> <p>TORRI PORTAIE: a pianta quadrangolare, sorge in mezzeria della facciata Nord del manufatto. È più alta delle torri maestre.</p> <p>MURI A SCARPA: lo studio delle proporzioni degli elementi lascia ipotizzare che in origine l'attacco a terra era costituito da muri a scarpa.</p> <p>FOSSATI: circondavano il manufatto, ma sono stati chiusi e attualmente non sono più visibili.</p> <p>COPERTURE: manto di copertura in coppi. Struttura portante non accertabile in fase di sopralluogo.</p> <p>VOLTE: informazioni non accertabili in fase di sopralluogo. Presenza di strutture voltate accertata dagli elaborati grafici ricevuti.</p>	<p>BECCATELLI: presenti lungo tutto il perimetro (ad eccezione di una porzione dell'edificio Nord-Ovest). Ognuno di essi in prospetto termina con un arco a sesto acuto.</p>
<p>MATERIALI (informazioni desunte da quanto rilevato durante i sopralluoghi effettuati <i>in loco</i>, non avendo la possibilità di accedere all'interno del fabbricato stesso)</p> <p>PIETRA: soglie finestre e scala accesso principale.</p> <p>LATERIZIO: tutti gli elementi architettonici della rocca sono stati realizzati utilizzando laterizi in argilla cotti, messi in opera mediante malte di calce.</p> <p>LEGNO: -</p>	
<p>TECNICHE COSTRUTTIVE (informazioni desunte da quanto rilevato durante i sopralluoghi effettuati <i>in loco</i>, non avendo la possibilità di accedere all'interno del fabbricato stesso)</p> <p>I paramenti murari appartenenti ad elementi architettonici diversi, sono molto differenti, in alcuni casi variano anche da porzione a porzione di uno stesso elemento.</p>	
<p>INTERVENTI DI RESTAURO</p> <p>Non è stato possibile reperire informazioni in merito.</p>	
<p>CINEMATISMI DI DANNO:</p> <p><i>1 – Ribaltamento composto fuori dal piano corpo principale:</i> torre isolata, ubicata a Sud-Ovest del complesso. Trattasi di meccanismo antecedente il sisma (si veda D2).</p>	
<p>CINEMATISMI DI DANNO ATTESI</p> <p>Non essendo stati rilevati cinematismi innescati dagli eventi sismici del 2012, non è immaginabile alcun loro futuro sviluppo.</p>	
<p>INFLUENZA DEGLI INTERVENTI DI RESTAURO NEI CINEMATISMI DI DANNO</p> <p>La mancanza di informazioni relative le eventuali campagne di restauro realizzate e l'assenza di cinematismi di danno rilevati, non permettono di ricavare alcun rapporto intercorrente tra di essi.</p>	
<p>INTERVENTI DI PRESIDIO POST SISMA 2012: non messi in opera.</p>	

BIBLIOGRAFIA:

- Librenti M. (a cura di), *La Rocca di Cento: indagini storiche e archeologiche*, All'Insegna del Giglio, Firenze 2006.

- Samaritani A., *La Rocca nella storia di Cento dalle origini al XVIII secolo*, Comune di Cento, Cento 1995.

SITOGRAFIA:

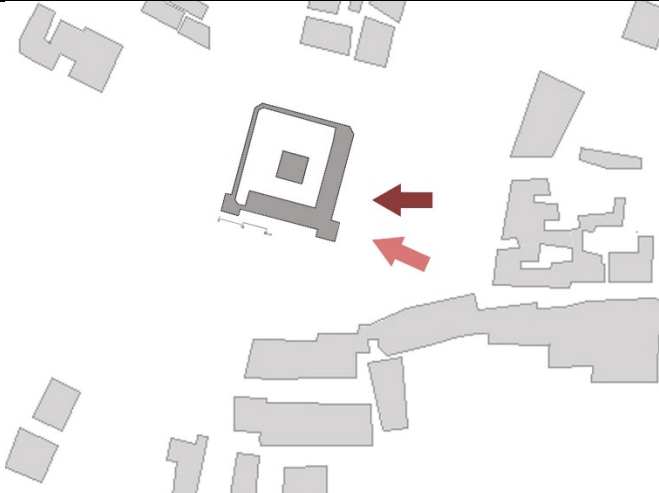
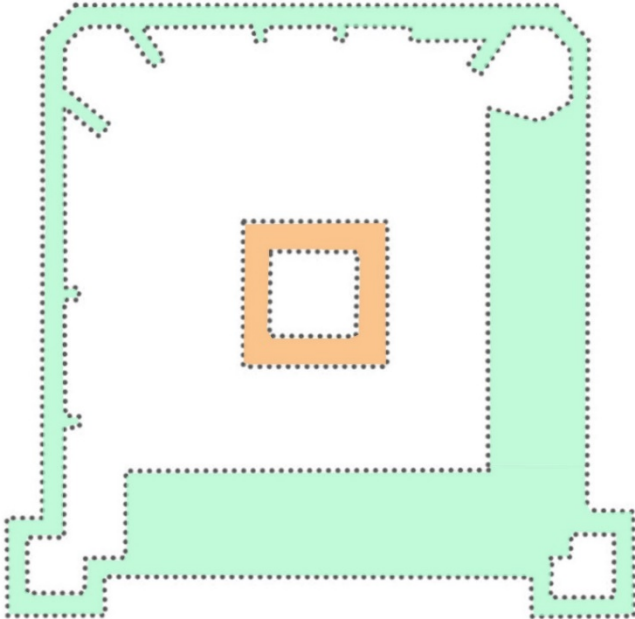
- <http://www.comune.cento.fe.it>, ultima consultazione 08 Giugno 2015.

ARCHIVI: -

RILIEVO FOTOGRAFICO



4.1.5 La Rocca di Reggiolo

<p>LUOGO: Reggiolo (RE) INDIRIZZO: Via IV Novembre, 1 COORDINATE GEOGRAFICHE: Latitudine_44° 91' 79.76" Longitudine_ 10° 80' 57.48" DESTINAZIONE: difensivo-militare. Mai utilizzata come residenza. USO ATTUALE: - PROPRIETÀ: Comune di Reggiolo</p>	 <p>Fig. 1 - Planimetria della Rocca di Reggiolo, inserita nell'attuale contesto. In bordeaux direzione sisma del 20 maggio, in rosa direzione scossa del 29 maggio</p>
<p>NOTIZIE STORICHE: Il nucleo originario della ROCCA DI REGGIOLO è costituito dalla torre centrale risalente al 1242. L'aspetto attuale coincide sommariamente con quello che il manufatto acquisì durante il XIV sec., per opera dei Gonzaga di Mantova. Risalgono infatti a questo periodo sia il muro di cinta, sia le quattro torri angolari.</p> <p>AUTORE: -</p>	<p>DESCRIZIONE: Il manufatto è costituito da un mastio centrale, circondato da un recinto murario quadrangolare. Le mura perimetrali presentano quattro torri angolari, le due verso Sud sono sporgenti rispetto la cerchia muraria. È presente anche una finta torre portaia, in corrispondenza della mezzeria del prospetto Sud, simbolo dell'accesso principale della fortezza.</p>
<p>PIANTA DI FASE</p>  <p>LEGENDA</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Nucleo primitivo del 1242 ■ Elementi del XIV sec. 	

<p>ELEMENTI ARCHITETTONICI (PRIMARI)</p> <p><i>MASTIO:</i> pianta quadrangolare, di circa 11,5 m di lato, altezza pari a 36 m. Edificato totalmente in laterizio, la muratura è molto massiccia: si passa da uno spessore di 2,30 m alla base a 1,80 nella parte sommitale.</p> <p><i>TORRI MAESTRE:</i> torri angolari presenti sul lato sud del manufatto. Sporgenti rispetto la cerchia muraria e più alte di quest'ultima. Quella di S-E è "compresa" tra due corpi di fabbrica, mentre quella di S-O è ammorsata alle mura di cinta.</p> <p><i>TORRI PORTAIE:</i> torre a filo delle mura di cinta, eretta in corrispondenza dell'accesso principale (lato Sud del manufatto). Stessa altezza delle torri angolari.</p> <p><i>MURI A SCARPA:</i> attacco a terra a piombo. Non è presente alcuna tipologia di scarpa.</p> <p><i>FOSSATI:</i> edificate a protezione della facciata Nord, oggi non più visibili poiché sono state chiuse nel tempo.</p> <p><i>COPERTURE:</i> -</p> <p><i>VOLTE:</i> -</p>	<p>ELEMENTI ARCHITETTONICI (SECONDARI)</p> <p><i>MERLI:</i> guelfi, con rapporto b\h circa pari a due, presenti lungo tutta la cinta muraria, sulla sommità delle torri angolari e del mastio, totalmente in laterizio.</p> <p><i>BECCATELLI:</i> -</p>
<p>MATERIALI</p> <p><i>PIETRA:</i> -</p> <p><i>LATERIZIO:</i> tutti gli elementi architettonici della rocca sono stati realizzati utilizzando laterizi in argilla cotti, messi in opera mediante malte di calce.</p> <p><i>LEGNO:</i> informazioni non accertabili</p>	
<p>TECNICHE COSTRUTTIVE</p> <p>Gli spessori murari e l'assottigliarsi delle sezioni verso la sommità della fortificazione, fanno intuire che le murature sono a sacco, probabilmente i nuclei sono costituiti da materiali di risulta, ben costipati. I paramenti murari sono omogenei, a corsi regolari. La tessitura invece non è regolare: l'alternanza variabile tra laterizi disposti per coltello e per fascia lascia intuire ancora il riutilizzo di materiali di scarto. I paramenti sono costellati da buche puntaie, verticalmente allineate e disposte orizzontalmente ad intervalli regolari.</p> <p>I paramenti murari non risultano ben ammorsati lungo i vertici presenti tra mura di cinta e torri maestre.</p>	
<p>INTERVENTI DI RESTAURO: Il manufatto è stato oggetto di varie campagne di restauro, tra le quali vanno ricordati gli interventi al mastio del 1976-1978 e quelli di consolidamento riguardanti le restanti strutture, del 1980-1983.</p> <p>Il terremoto del 1985 rese inagibile la rocca che venne ripristinata solo nel 1995.</p> <p>Gli interventi più recenti risalgono al 2004 e vennero realizzati per eliminare i danni causati dal sisma del 1996. La riparazione con miglioramento sismico, a cura dell'ing. Valenti, comprende:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Consolidamento puntuale dei laterizi collocati nella parte sommitale delle torri e delle mura; 	

- Ammorsamento paramenti murari discontinui (escludendo tecniche invasive, quali cuciture, rete e betoncino armati, iniezioni cementizie);
- Rimozione delle lacune mediante cuci-scuci;
- Eliminazione piante infestanti;
- Protezione parti più esposte, con scossaline in piombo.

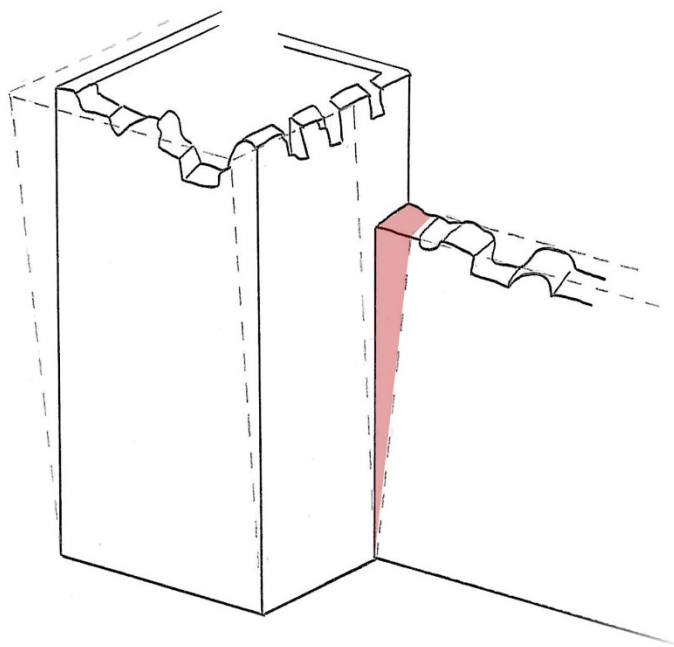
CINEMATISMI DI DANNO:

1 – Ribaltamento fuori dal piano apparato a sporgere
(si veda **A3**)

Le parti sommitali delle torri Nord-Est e Nord-Ovest hanno manifestato vari fenomeni di rotazione. Ciascun lato ha ruotato, verso l'esterno, attorno ad un asse, ad esso appartenente, collocato ad altezza pari a circa $2/3$ da terra. Si può ipotizzare che il cinematismo in oggetto sia stato influenzato dall'interazione tra torri e cortina muraria. Le fessurazioni rilevabili sembrano essere passanti e quindi interessare il paramento murario in tutto il suo spessore. Non è possibile accertare lo stato del nucleo delle murature e del paramento interno.

2 – Meccanismi da cattivo ammorsamento torri-mura di cinta (si veda **H3**).

La differenza tra torri angolari e cinta muraria, sia in termini di altezza che di snellezza, sotto sisma, oltre che la natura del terreno sottostante, ha provocato l'innescarsi di un cinematismo di distacco tra i due elementi architettonici (in rosso nello schizzo a lato). Per una comprensione più immediata del fenomeno si potrebbe immaginare una sorta di rotazione alla base, attorno all'asse costituito dal lato comune alle due parti. La torre a Sud-Ovest ruota in senso antiorario, mentre il muro in senso orario. Nella torre Sud-Est non si è manifestato questo cinematismo, probabilmente perché quest'ultima è addossata a corpi di fabbrica e non semplicemente a mura di cinta.



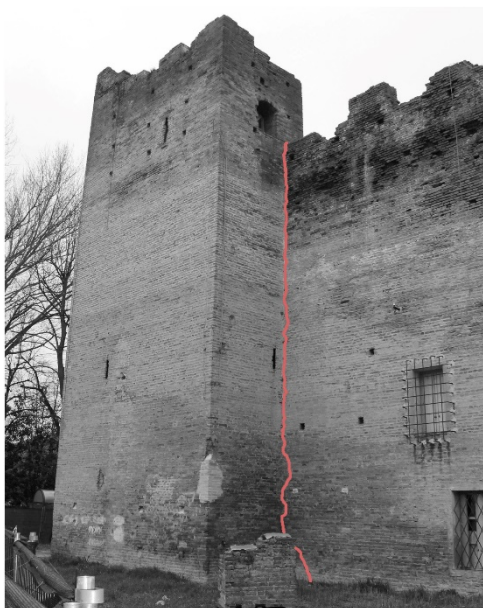


Fig. 2 – Cinematismo n.2

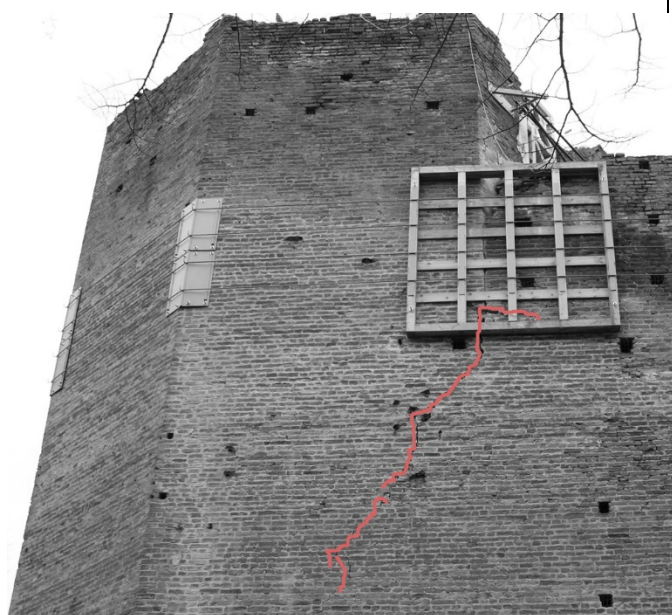


Fig. 3 – Cinematismo n.1

CINEMATISMI DI DANNO ATTESI

Crollo delle parti sommitali dei torrioni Nord-Est e Nord-Ovest: i fenomeni di ribaltamento descritti nel cinematismo n. 2 potrebbero infatti progredire, andando ad interessare non soltanto i paramenti murari, ma le murature in tutto il loro spessore.

INFLUENZA DEGLI INTERVENTI DI RESTAURO NEI CINEMATISMI DI DANNO

L'ammorsamento dei paramenti murari discontinui non ha evitato il manifestarsi del cinematismo n. 2 nella torre Sud-Ovest. Va evidenziato tuttavia che il medesimo meccanismo di danno non si è sviluppato nella torre Sud-Est, oggetto degli stessi interventi, probabilmente a causa della posizione reciproca tra torri, mura di cinta e corpi di fabbrica.

INTERVENTI DI PRESIDIO POST SISMA 2012:

- Tiranti metallici e telai lignei in corrispondenza delle parti sommitali delle torri Nord-Est e Nord-Ovest, per evitare il progredire del cinematismo n 1;
- Portali lignei agli ingressi del manufatto, per evitare il collasso delle murature in corrispondenza di questi ultimi.

BIBLIOGRAFIA:

- Canova F., Reggiolo. *La storia. I parte*, Amministrazione Comunale di Reggiolo, Reggiolo 1980.
- Canova F., Reggiolo. *La storia. II parte*, Amministrazione Comunale di Reggiolo, Reggiolo 1980.

SITOGRAFIA:

- <http://www.comune.reggiolo.re.it>, ultima consultazione 08 Giugno 2015.

ARCHIVI:

- A.S.A.B.A.P. Bologna, Ferrara, Modena e Reggio Emilia, Rocca di Reggiolo, anni 1976-2004.

RILIEVO FOTOGRAFICO



4.2 Parametri sismici significativi dei casi di studio

La consapevolezza dell'importanza che la conoscenza dei fenomeni sismici riveste nello studio dei cinematismi di danno ad essi correlati, ha fatto prendere in considerazione, all'interno della presente ricerca, alcuni parametri che permettono di confrontare in maniera semplice ed oggettiva la vulnerabilità dei casi di studio individuati. La quantità e la tipologia di informazioni disponibili, oltre che l'impossibilità di realizzare prove di indagine distruttive, hanno permesso di formulare considerazioni sulla base di analisi visive, letture dei caratteri costruttivi, rilievi critici e stratigrafici; pertanto le conclusioni evincibili sono assimilabili ad un livello di conoscenza limitato o LV1¹⁰⁷, basato sulla padronanza di dati geometrici e/o meccanici e qualitativi¹⁰⁸.

Le considerazioni appena esposte hanno assunto un peso rilevante anche nella scelta dello stato limite¹⁰⁹, indice del livello di sicurezza e protezione nei riguardi del rischio sismico.

I parametri analizzati in seguito fanno riferimento allo *Stato Limite di Salvaguardia della Vita o SLV*¹¹⁰. Per tutti i beni tutelati è richiesta la valutazione nei confronti dello SLV, in quanto garantisce sia la conservazione della fabbrica storica che l'incolumità degli occupanti. Questa procedura speditiva è stata utilizzata pur essendo consapevoli dell'importanza degli altri stati limite, basti fare riferimento allo Stato Limite di Danno ai Beni Artistici o SLA, attinente tutti i preziosi contenuti all'interno dei beni monumentali architettonici. Si è ritenuto sufficiente prendere in considerazione esclusivamente lo SLV, demandando una valutazione più approfondita, nella quale vengano analizzate le situazioni relative a tutti gli altri Stati Limite, ad un eventuale momento progettuale.

¹⁰⁷ D.P.C.M. 9 Febbraio 2011, *op. cit.*, pp. 7-8.

¹⁰⁸ Nel caso di progettazione di interventi riguardanti edifici tutelati si prendono invece in considerazione i seguenti livelli di conoscenza dei manufatti: LV2, in caso di riparazioni o interventi locali, che non alterano in modo significativo il comportamento strutturale della fabbrica storica, LV3, nel caso di miglioramento sismico, che per quanto possibile non dovrebbe modificare la risposta strutturale degli edifici.

¹⁰⁹ NTC 2008, *Norme tecniche delle Costruzioni*, par. 3.2.1 Stati Limite e relative probabilità di superamento, consultabile gratuitamente dal sito http://www.acca.it/Portals/0/3_azioni_costruzioni.pdf, ultima consultazione 20 Marzo 2017, pp. 15-16.

¹¹⁰ Per i beni culturali vengono considerati solitamente lo Stato Limite di Salvaguardia della Vita o SLV e lo Stato Limite di Danno o SLD. Le verifiche svolte in funzione di quest'ultimo parametro garantiscono l'agibilità del manufatto. Per i fabbricati contenenti elementi di alto valore artistico, vanno effettuate anche valutazioni locali nei confronti dello Stato Limite di Danno ai Beni Artistici, per garantirne la conservazione ottimale.

4.2.1 Classe d'uso

La *classe d'uso* è un parametro valutato in funzione delle conseguenze che l'inagibilità, il collasso o più semplicemente la perdita di funzionalità dell'edificio preso in esame, comporterebbero in situazioni di emergenza sismica¹¹¹. Si è ritenuto opportuno considerare tutti i casi studio in *Classe III* “[...] *Uso molto frequente e/o con affollamenti significativi* [...]”¹¹², in quanto sebbene attualmente, in seguito all'inagibilità dovuta allo sciame sismico del 2012, soltanto la Rocca di Vignola sia museo di se stessa e la Rocca di Cento ospiti manifestazioni culturali e gastronomiche, tutte cinque le fabbriche storiche potrebbero assolvere funzione museale o assumere altra destinazione d'uso, congrua con le caratteristiche geometrico ed architettoniche, che seppur non rivestendo funzioni strategiche in caso di emergenza e non definibili come costruzioni con funzioni pubbliche, comporterebbero attività che coinvolgono la fruizione da parte di un numero elevato di persone.

¹¹¹ NTC 2008, *op. cit.*, p. 5.

¹¹² D.P.C.M. 9 Febbraio 2011, *op. cit.*, pp. 12-15.

4.2.2 *Vita nominale*

“[...] La vita nominale di un’opera strutturale V_N è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata [...]”¹¹³.

Nel caso di edifici storici tutelati, la vita nominale, misurata in anni, varia in funzione delle caratteristiche del manufatto e della conoscenza che si ha di quest’ultimo. Prendere in considerazione valori molto elevati per questo parametro, comporta garantire una conservazione a lungo termine della fabbrica storica, ma contemporaneamente prevede verifiche più gravose ed interventi molto invasivi. Viceversa ragionare tenendo in considerazione un numero ridotto di anni significa tutelare (in termini probabilistici) la costruzione per un periodo temporale inferiore.

Per tutti i casi di studio presi in esame è stata valutata una vita nominale pari ad anni cinquanta, valore minimo indicato in normativa per *“[...] opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale [...]”¹¹⁴*. La scelta dello stesso valore per tutti i casi di approfondimento permette di comparare gli indici di sicurezza sismica ottenuti, indipendentemente da scelte non rilevanti ai fini della ricerca.

¹¹³ *Ivi*, p. 4.

¹¹⁴ *Ibid.*

4.2.3 *Periodo di riferimento e periodo di ritorno*

«Le azioni sismiche sulla costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento così definito:

$$V_R = V_N C \text{»}^{115}.$$

Secondo le considerazioni esposte ai paragrafi precedenti, avendo preso in considerazione la medesima classe d'uso III e vita nominale pari ad anni cinquanta, per tutti i casi studio, il *periodo di riferimento* considerato è pari a:

$$V_R = V_N C = 50 \cdot 1,5 = 75 \text{anni}$$

«Per ciascun bene culturale tutelato, in relazione al periodo di riferimento V_R ed allo stato limite considerato, cui è associata una probabilità di superamento P_{V_R} nel periodo di riferimento, può essere valutato il periodo di ritorno di riferimento dell'azione sismica T_R »¹¹⁶.

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{V_R})}$$

Secondo la formula sovrascritta, avendo tenuto in considerazione per tutti i casi di approfondimento i medesimi valori per le variabili in gioco, è stato possibile valutare un periodo di ritorno pari a 712 anni¹¹⁷. In termini probabilistici, il periodo di ritorno è sinonimo di sicurezza di una struttura rispetto ad un evento sismico, quando il valore di questo parametro, riferito all'edificio, è minore di quello riferito al terremoto.

¹¹⁵ *Ivi*, p.5.

¹¹⁶ *Ibid.*

¹¹⁷ I calcoli sono stati eseguiti utilizzando il foglio di calcolo *Spettri-NTCver.1.0.3*, messo a disposizione dal Consiglio dei Lavori Pubblici e scaricabile gratuitamente dal sito http://www.cslp.it/cslp/index.php?option=com_content&task=view&id=75&Itemid=20, ultima consultazione 22 Febbraio 2015.

4.2.4 Spettri di risposta

Il moto sismico al suolo, influenzato in maniera preponderante dalle qualità topografiche, geologiche e stratigrafiche locali, può essere sinteticamente esposto attraverso spettri di risposta elastici. Le irregolarità topografiche, la rigidità e la continuità degli strati superficiali possono provocare amplificazioni del moto sismico. I parametri che descrivono le caratteristiche dei suoli possono assumere valori molto differenti, appartenenti ad ordini di grandezza diversi, seppur facendo riferimento a terreni adiacenti o poco distanti. Quindi per tenere in debita considerazione la risposta sismica di un suolo, è auspicabile effettuare specifiche analisi, ma poiché lo scopo della presente ricerca non è la progettazione di interventi di restauro, si è ritenuto sufficiente prendere atto di studi di risposta sismica locale e di microzonazione sismica già disponibili.

Per ciascun caso di approfondimento analizzato, in primo luogo è stata individuata la *categoria topografica* più adatta a descrivere la configurazione superficiale del terreno ove sorge la fabbrica storica. In tutti i cinque casi, essendo ubicate le fortificazioni in siti pianeggianti, è stata selezionata la «*Categoria T1: superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$* »¹¹⁸. Anche per poter descrivere la *categoria di sottosuolo*, in assenza di specifiche analisi, sono state utilizzate le classificazioni semplificate riportate in normativa¹¹⁹. Secondo gli studi esistenti consultati¹²⁰, la velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio nei primi 30 m di profondità (V_{s30}), è compresa tra i 183 m/s rilevati a Finale Emilia e i 262 m/s di San Felice sul Panaro. Quindi anche per questo parametro è stato possibile selezionare la medesima categoria per tutti i casi di studio, infatti la normativa vigente recita: «*Categoria C: Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < NSPT,30 < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < cu,30 < 250$ kPa nei terreni a grana fina)*»¹²¹.

Dopo aver valutato i parametri appena descritti, sono stati definiti i corrispondenti *spettri di risposta*¹²². Per tutti i casi di studio è stato ottenuto lo stesso spettro di risposta (fig. 141), in quanto i dati di *input* inseriti sono stati i medesimi.

¹¹⁸ NTC 2008, *op. cit.*, pp. 16-18.

¹¹⁹ *Ibid.*

¹²⁰ <http://www.va.minambiente.it/it-IT/Oggetti/Documentazione/1142/1446?pagina=563>, ultima consultazione 21 Febbraio 2015; http://www.intercent.it/ProceduraPST/Allegato3_PST/lotto%202%20Cento/relazione%20geologica/60RI/Tot.pdf, ultima consultazione 21 Febbraio 2015; http://tecnico.comunesanfelice.net/poc/doc_geo/poc1_2.pdf, ultima consultazione 21 Febbraio 2015;

http://www.intercent.it/ProceduraEPT3/Relazioni%20Geologiche/EPT_III_Lotto9_Finale%20Emilia_Relazione%20Geologica.pdf, ultima consultazione 21 Febbraio 2015.

¹²¹ NTC 2008, *op. cit.*, p. 16.

¹²² Avvalendosi del *software* messo a disposizione dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, scaricabile dal sito http://www.cslp.it/cslp/index.php?option=com_content&task=view&id=75&Itemid=20, ultima consultazione 22 Febbraio 2015.

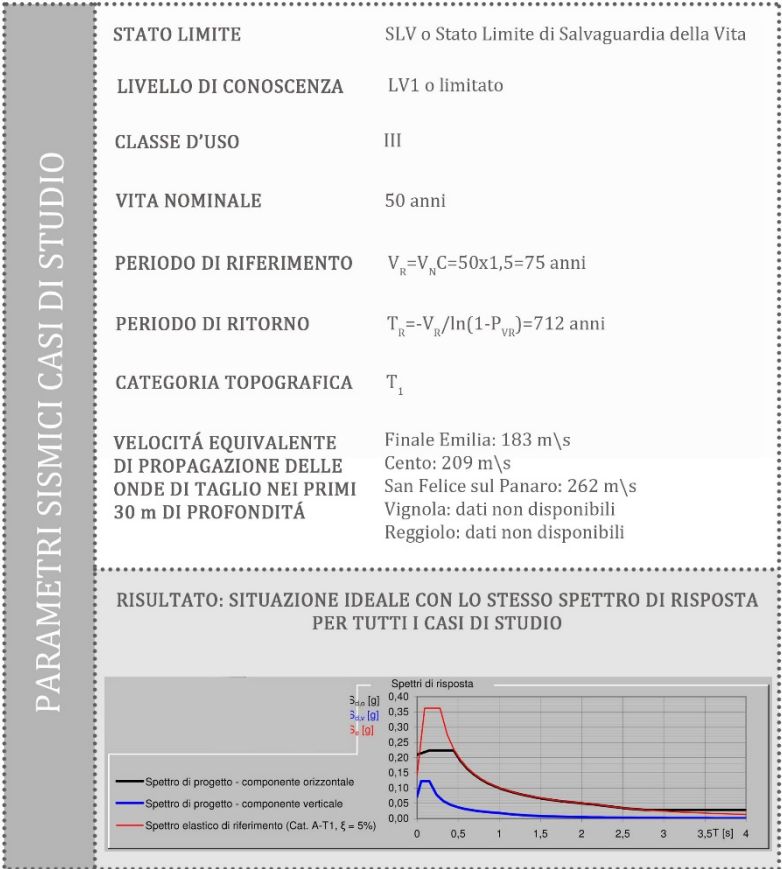


Figura 141 – Parametri utilizzati per il calcolo dello spettro di risposta relativo i cinque casi di approfondimento.

4.2.5 Indice di sicurezza sismica

L'indice di sicurezza sismica è definito dal rapporto tra il periodo di ritorno dell'azione sismica che porta al generico stato limite T_{SL} ed il periodo di ritorno di riferimento corrispondente $T_{R,SL}$ ¹²³.

$$I_{S,SLV} = \frac{T_{SLV}}{T_{R,SLV}} \quad 124$$

Nei casi in cui $I_{S,SLV} \geq 1$ il manufatto preso in esame si può ritenere sicuro per un arco temporale pari alla vita nominale selezionata e per la destinazione d'uso contemplata attraverso la scelta della classe d'uso, invece se $I_{S,SLV} < 1$, le considerazioni effettuate meritano di essere approfondite.

Quando il livello di conoscenza del manufatto architettonico è limitato o LV1 l'indice di sicurezza sismica può essere assunto come unico parametro per stipulare una graduatoria di rischio di tutti gli edifici presi in considerazione in una definita area geografica. Tale graduatoria potrebbe rappresentare il punto di partenza per programmare ulteriori indagini conoscitive ed eventualmente, in un secondo tempo, anche interventi volti ad abbassare la vulnerabilità dei manufatti.

Ai fini della presente ricerca, poiché il periodo di ritorno di riferimento $T_{R,SLV}$ ha lo stesso valore per tutti i casi di studio considerati, si può facilmente dedurre che per confrontare l'indice di sicurezza sismica relativo ai manufatti selezionati, sarebbe sufficiente conoscere il periodo di ritorno dell'azione sismica che porta allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita T_{SLV} . Per poter calcolare il periodo di ritorno dell'azione sismica che porta allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita T_{SLV} , è necessario però avere una conoscenza ben definita del comportamento strutturale in fase dinamica della struttura considerata.

Gli obiettivi del presente studio tuttavia esulano dalla definizione di parametri strutturali meccanici utili al mero calcolo strutturale, quindi è stato realizzato un inquadramento geografico-sismologico comparativo tra le fortificazioni esaminate, di fondamentale importanza anche secondo le vigenti normative in materia, ma non ci si è soffermati sul calcolo di laboriosi parametri progettuali.

¹²³ Calcolato in precedenza, cfr. par. 3.4.3.

¹²⁴ Nella presente esposizione viene fatto riferimento esclusivamente allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita e quindi l'indice di sicurezza sismica è definito come il rapporto tra il periodo di ritorno dell'azione sismica che porta allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita T_{SLV} ed il periodo di ritorno di riferimento corrispondente $T_{R,SLV}$.

4.3 I macroelementi architettonici maggiormente danneggiati nei casi di approfondimento

4.3.1 *Mastio, torri angolari e torri perimetrali*

Si vuole ora porre l'attenzione sui cinematismi di danno, relativi *masti, torri angolari e perimetrali*, innescatisi sotto sisma. Non saranno presi momentaneamente in considerazione i meccanismi che hanno interessato le parti sommitali di questi elementi architettonici.

Il *distacco innescatosi tra torrioni e mura di cinta* è un cinematismo riscontrato nella *torre angolare* Sud-Ovest della **Rocca di Reggiolo**, in quelle ubicate in corrispondenza della facciata Nord della **Rocca di San Felice sul Panaro** e tra le *torri angolari* della facciata Sud del **Castello delle Rocche di Finale Emilia**.

Nel primo caso (si veda abaco dei cinematismi di danno, codice alfanumerico **H3**), la differenza tra *torre angolare* e *cinta muraria*, sia in termini di *altezza* che di *snellezza*, sotto sisma, ha provocato un distacco tra i due elementi architettonici (figg. 142-143). Per una comprensione più immediata del fenomeno si potrebbe immaginare una sorta di rotazione alla base, attorno all'asse costituito dal lato comune alle due parti. La *torre* a Sud-Ovest ruota in senso antiorario, mentre il muro in senso orario. Nella *torre* Sud-Est non si è manifestato questo cinematismo, probabilmente perché quest'ultima è addossata a *corpi di fabbrica* e non semplicemente a *mura di cinta*.

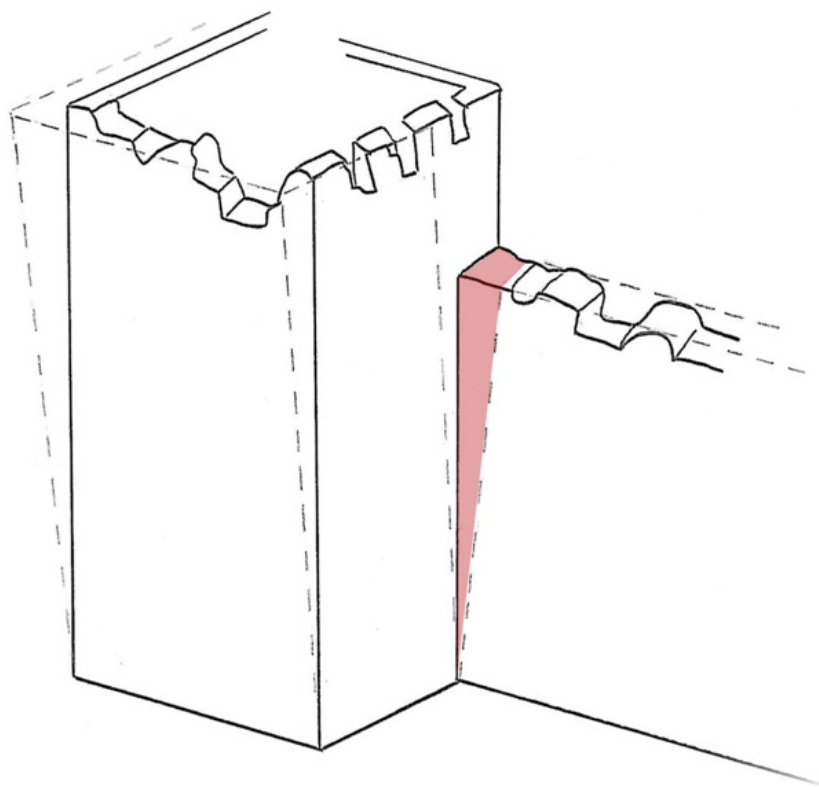


Figura 142 – *Rocca di Reggiolo*, schematizzazione del distacco innescatosi tra Torre S-W e cortina muraria adiacente.

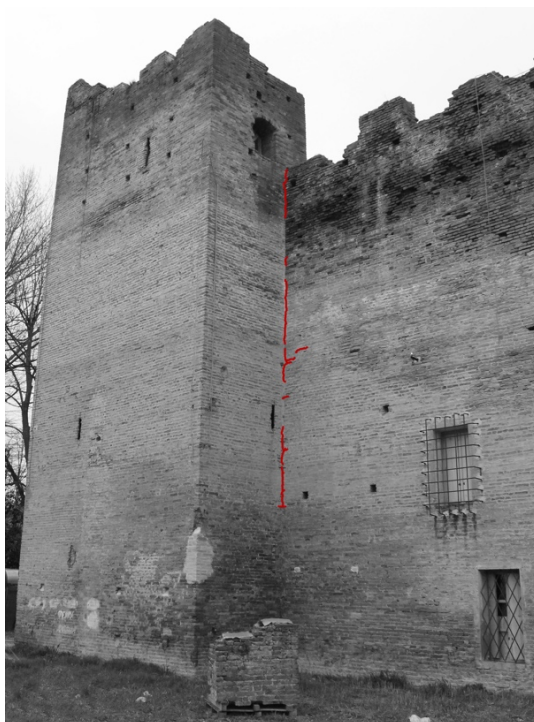


Figura 143 - *Rocca di Reggiolo*, rilievo delle lesioni causate dal distacco innescatosi tra Torre S-W e cortina muraria adiacente.

A **San Felice sul Panaro** (si veda abaco dei cinematismi di danno, codice alfanumerico **H1**), il meccanismo in oggetto è in uno stato di avanzamento molto più sviluppato rispetto a quanto riscontrato a proposito della fortificazione sopra analizzata. Nella *torre* Nord-Est le lesioni hanno larghezza pari a circa 20 cm, sono passanti, ed in corrispondenza della loro parte superiore, è rilevabile anche il crollo di alcuni laterizi (fig. 144).

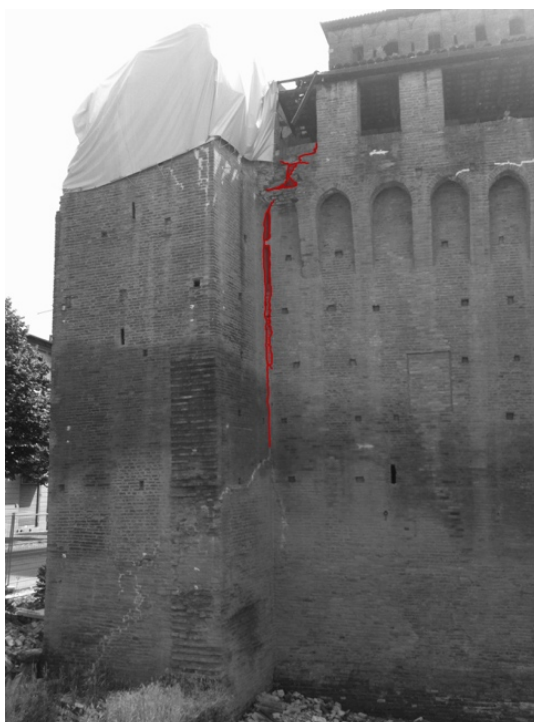


Figura 144 – *Rocca di San Felice sul Panaro*, rilievo delle lesioni causate distacco torre Nord-Est dal paramento murario adiacente.

Alla luce delle osservazioni sopra esposte, si ritiene che il cattivo ammorsamento lungo i vertici presenti tra *mura di cinta* e *torri maestre*, come evidenziato da un'attenta analisi dei corsi murari, possa essere considerato una delle cause più influenti del distacco tra gli elementi architettonici in oggetto.

I corpi principali delle *torri*, in molti dei casi indagati, sono stati inoltre interessati anche da altre tipologie di cinematismi. Alcuni di questi sono stati provocati dalla presenza di pesanti elementi in C.A., come ad esempio cordoli o solette, messi in opera durante interventi di consolidamento strutturale. A **San Felice sul Panaro** (si veda abaco dei cinematismi di danno, codice alfanumerico **II**), ad esempio, il prospetto Est della *torre* perimetrale Nord e la *cortina muraria* adiacente, manifestano un quadro fessurativo costituito da lesioni con andamento diagonale, passanti e diffuse in tutto il paramento murario non crollato. Gran parte dell'apparato murario in oggetto è infatti crollato, mettendo in evidenza *una volta pesantemente consolidata e sovraccaricata da una soletta in C.A.* (fig. 145), opera di interventi di restauro strutturale del XX secolo. Gli antichi paramenti murari si sono mostrati tanto possenti quanto vulnerabili: non hanno resistito al “*effetto taglierina*” innescato dagli *elementi in C.A.*



Figura 145 - *Rocca di San Felice sul Panaro*, crolli e lesioni torre Nord (lato Est) per effetto di interventi di restauro poco appropriati.

Nei casi esaminati, un intervento di consolidamento strutturale molto diffuso è costituito dalla sostituzione dei solai lignei con orizzontamenti in latero-cemento, soprattutto a livello di copertura. Le motivazioni che hanno reso tanto comune questa operazione venivano identificate nell'aumento del peso in copertura, il quale seppur amplificando le forze sismiche, determinava un notevole incremento della resistenza a taglio delle murature. Ci sono molti effetti secondari capaci di influire

negativamente sul comportamento atteso. Primo fra tutti è il cosiddetto *effetto trave*¹²⁵, fenomeno di natura statica, dovuto all'elevata rigidità dei cordoli e dei solai latero-cementizi. Il cordolo messo in opera per distribuire in maniera uniforme i carichi sulla muratura storica sottostante, in realtà si comporta come se fosse una trave, in quanto scarica i paramenti sottostanti e trasmette azioni concentrate alle estremità. L'effetto di questo intervento spesso si manifesta attraverso la nascita di pericolose fessure tra il cordolo e la muratura e le uniche conseguenze del consolidamento quindi sono l'incremento e la concentrazione di forze sismiche. Sotto sisma il solaio tende a rimanere intatto, mentre le porzioni di muratura decomprese, tendono a ribaltarsi, come se fossero muri isolati sollecitati da forze ortogonali. Tutti i fenomeni descritti sono invece contrastati dalla presenza di solai e/o coperture tradizionali, i quali, se non si sfilano, si deformano adeguandosi alle nuove configurazioni e mantengono la muratura sottostante costantemente sotto carico.

Gli effetti negativi aumentano inestimabilmente in condizioni dinamiche, infatti il tetto e/o solaio rigido viene trascinato dai moti oscillatori innescati dalle forze taglienti trasmesse dai muri sottostanti a livello del piano di imposta. Si innesca in questo modo un classico cinematismo di danno caratterizzato dal distacco del cantonale e dal ribaltamento del cuneo murario di parete complanare all'azione sismica, come avvenuto nella torre Nord della **Rocca di San Felice sul Panaro**, dove gran parte della porzione Est è crollata a terra sotto forma di macerie minute.

A differenza delle strutture tradizionali, il cui comportamento è talmente ripetitivo da divenire in situazioni *standard* prevedibile, l'estremo irrigidimento della copertura e/o del solaio di piano rende del tutto incontrollabile la risposta sismica dei manufatti storici consolidati mediante questo metodo irreversibile. Nei casi in cui si è conservata la tecnologia tradizionale dell'impalcato in legno, sostituendone gli elementi strutturali, qualora non più idonei, è stato rilevato che i solai hanno mantenuto un buon grado di flessibilità.

Anche nel *Castello delle Rocche di Finale Emilia* (si veda abaco dei cinematismi di danno, codice alfanumerico **I2**), sono stati rilevati meccanismi dovuti alla presenza di cordoli e solette in C.A. Il cinematismo innescatosi ha provocato il crollo di buona parte del terzo ordine del loggiato di Giovanni da Siena. I reperti di questo elemento architettonico, evidenziano la presenza di un solaio di copertura latero-cementizio (fig. 146). Il quadro di danno rilevato potrebbe essere stato provocato quindi sia dagli interventi di consolidamento strutturale realizzati in passato, sia dalla forma del complesso fortificato: la porzione di loggiato non interessata da crolli è risultata meno vulnerabile all'azione sismica, in quanto addossata al corpo Ovest, mentre la parte danneggiata probabilmente non era affiancata da elementi abbastanza rigidi da poterne preservare l'integrità.

¹²⁵ G. Cangi, *Manuale del Recupero...*, pp. 234-237.



Figura 146 – Castello delle Rocche di Finale Emilia, resti del loggiato di Giovanni da Siena.

Dell'imponente *mastio* finalese oggi rimangono solo alcune creste murarie (fig. 147) e cumuli di macerie a grana minuta. Questo elemento è crollato quasi completamente, molto probabilmente, sia per la realizzazione di interventi di consolidamento strutturale pregressi, sia per il legante di scarsa qualità utilizzato¹²⁶.

L'analisi dei reperti evidenzia la presenza di vari livelli di muratura tra loro affiancati e contemporaneamente palesa la mancanza di elementi trasversali di collegamento (ad esempio laterizi utilizzati come *diatoni*). Questi paramenti affiancati, lavorando esclusivamente per attrito, sollecitati dall'azione sismica, sono stati interessati da fenomeni di ribaltamento che ne hanno causato i gravissimi crolli (fig. 148).

¹²⁶ Per quanto riguarda le torri, la Coïsson sostiene che “[...] il rischio principale per questa tipologia costruttiva è certamente la perdita di monoliticità delle murature, che pur essendo di norma caratterizzate da elevati spessori, possono essere a rischio di disgregazione per scarsa qualità della malta o della tessitura muraria [...]” (cfr. in E. Coïsson, F. Ottoni, *Tipologie edilizie e meccanismi di dissesto*, in C. Blasi, *op. cit.*, p. 88).

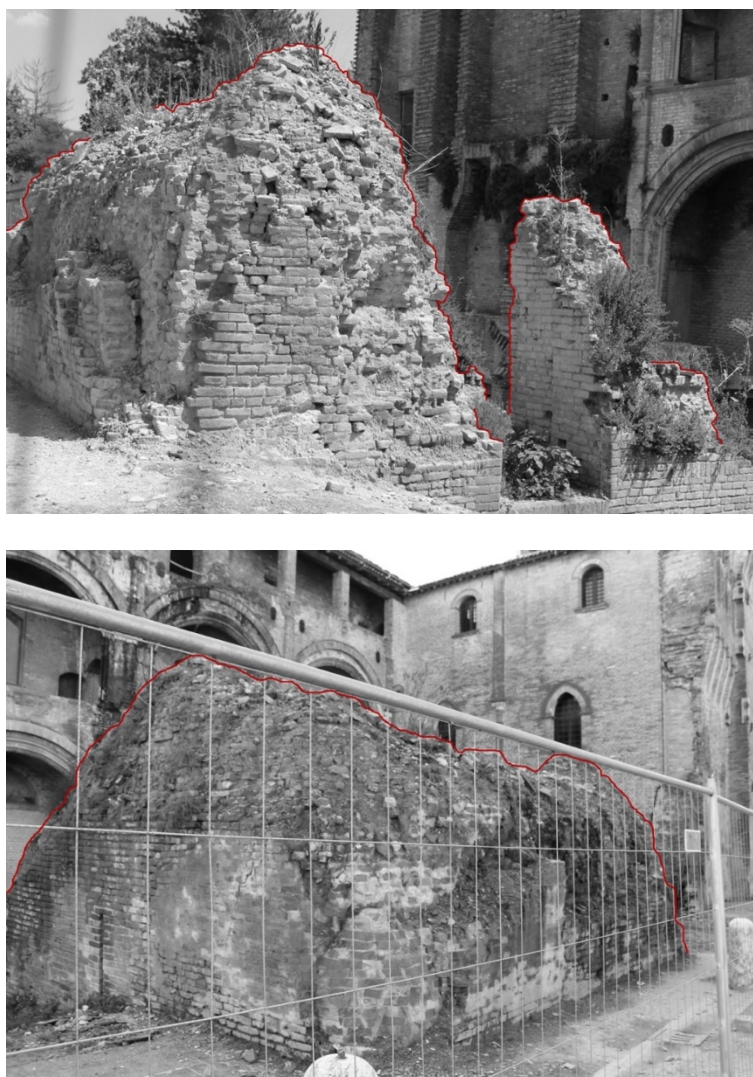
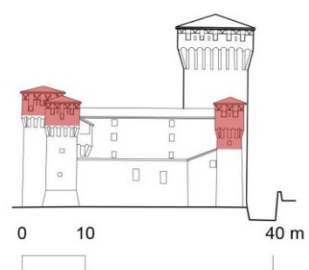


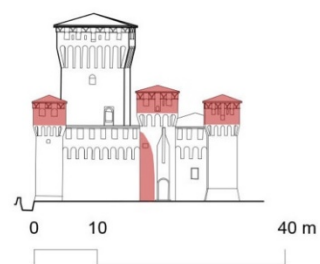
Figura 147– *Castello delle Rocche di Finale Emilia*, reperti del mastio. Viste da Nord – Ovest e da Nord – E

SFSP

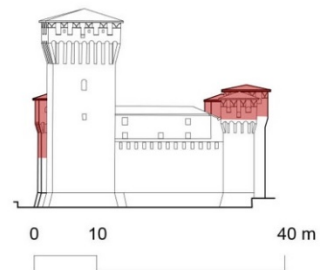
OVEST



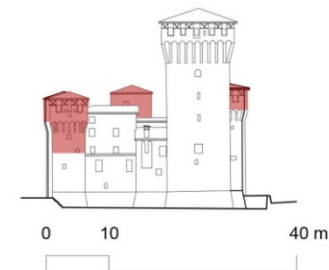
NORD



EST

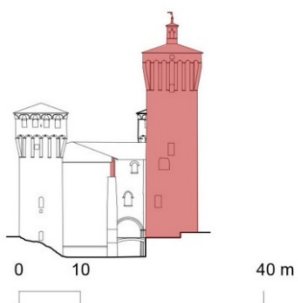


SUD

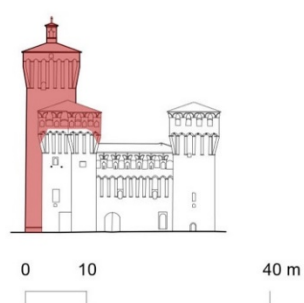


FE

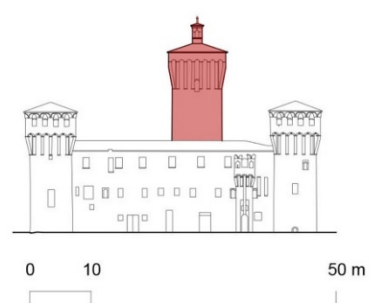
EST



OVEST



SUD



NORD

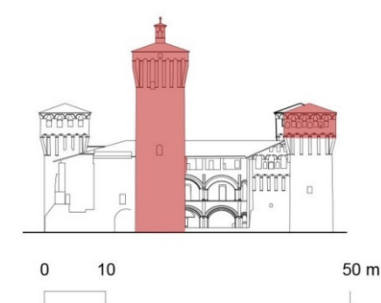


Figura 148 - *Rocca di San Felice sul Panaro e Castello delle Rocche di Finale Emilia*, in rosso elementi o porzioni di essi crollati a causa di varie combinazioni di meccanismi di danno.

In corrispondenza del *torrione* Sud-Est della **Rocca di San Felice sul Panaro**, l'interpretazione del quadro fessurativo rilevato mette in evidenza l'avvenuto innescarsi di un cinematismo di danno composto da un susseguirsi di fenomeni di ribaltamento (si veda abaco dei cinematismi di danno, codice alfanumerico **D1**).

Le lesioni più evidenti interessano esclusivamente la parte inferiore del macroelemento architettonico (fig. 149), cioè un volume avente altezza pari a circa la metà di quella totale della torre presa ora in considerazione. Sono inclinate all'incirca di $+45^\circ$ e -45° . Le fessure più marcate non interessano le aperture presenti, ma l'andamento di quelle minori è influenzato dalla presenza delle stesse aperture. In risposta alle oscillazioni indotte dal sisma, il *torrione* Sud – Est ha reagito anche in funzione dei vincoli laterali prodotti dagli elementi ad esso affiancati, ovvero l'*edificio*, e più in generale tutto il complesso, collocato verso Ovest, mentre verso Est la completa assenza di altri manufatti ha permesso alla *torre* di oscillare in libertà a tutt'altezza¹²⁷.

Alla luce dei meccanismi di danno appena individuati, è possibile ipotizzare che la parte superiore del torrione si sia lesionata in maniera lieve rispetto a quella inferiore, in quanto quest'ultima ha dissipato parzialmente energia sismica. Per questo motivo il funzionamento della parte basamentale, durante gli eventi tellurici, è paragonabile a quello di un isolatore sismico (fig. 150).

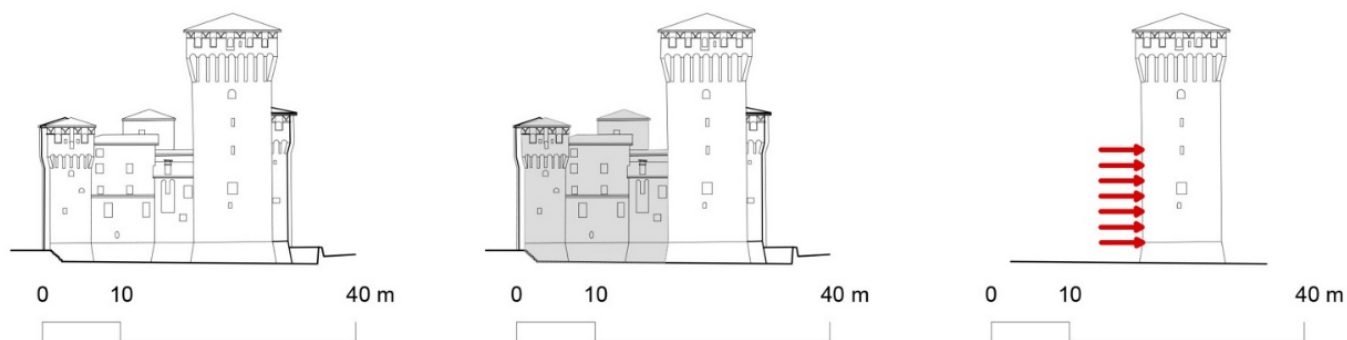
I sopralluoghi effettuati post-sisma hanno permesso di rilevare inoltre l'avvenuta espulsione di materiale sia sul lato Est che sul lato Ovest della *torre*, come conseguenza della combinazione di tutti i cinematismi precedentemente descritti.

¹²⁷ G. Cangi, *Il terremoto in Emilia e gli edifici in muratura*, DEI, Roma 2012, p. 8.

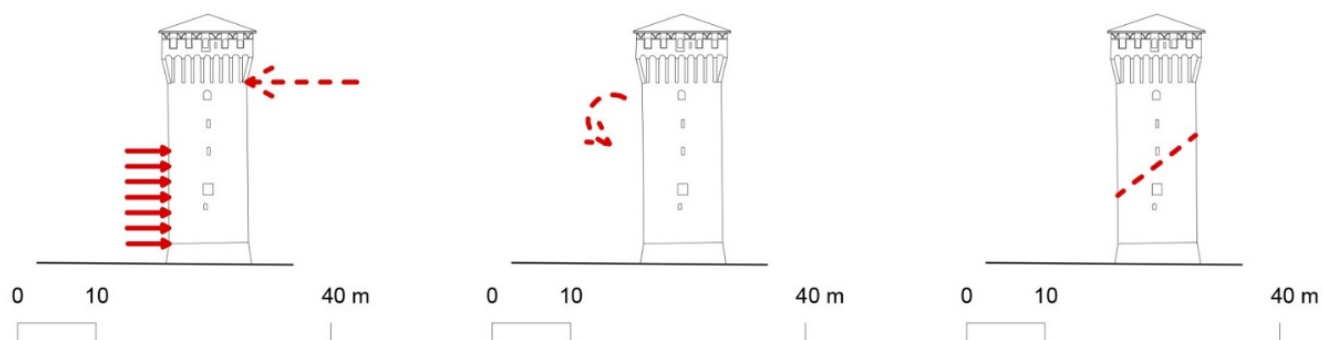


Figura 149 - *Rocca di San Felice sul Panaro*, torre Sud – Est lesionata dal sisma. A destra, rilievo del quadro fessurativo della facciata Sud.

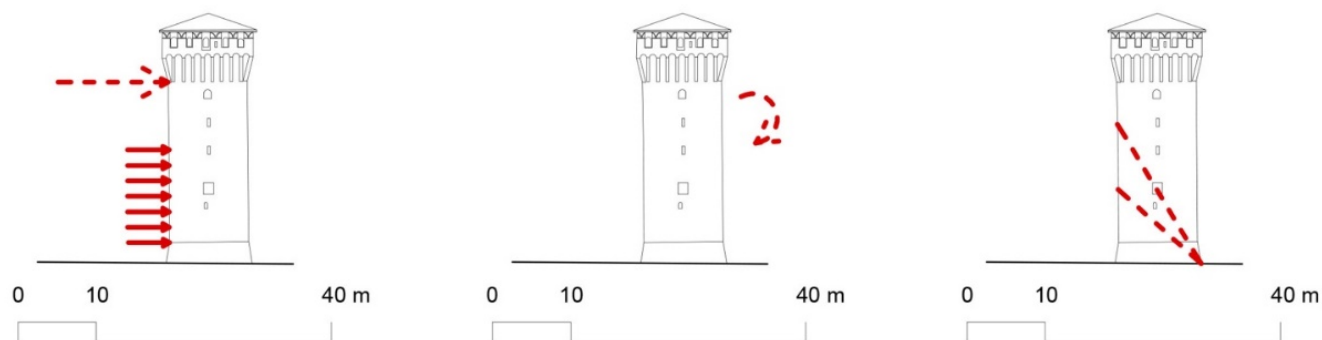
SITUAZIONE ANTE SISMA



CINEMATISMO DI DANNO COMPOSTO - FASE 1



CINEMATISMO DI DANNO COMPOSTO - FASE 2



CINEMATISMO DI DANNO COMPOSTO - FASE 1 + FASE 2

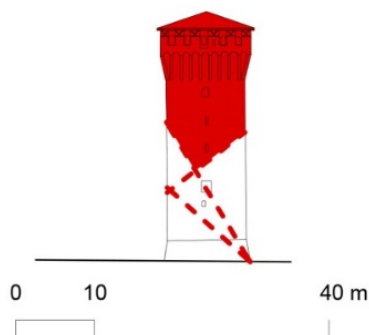


Figura 150 - *Rocca di San Felice sul Panaro*, schema del cinematismo di danno composto che ha caratterizzato le fasi di dissesto della torre Sud-Est. Dall'alto verso il basso: situazione ante sisma e schematizzazione dei vincoli; prima fase cinematismi di ribaltamento; seconda fase cinematismo di ribaltamento; situazione post sisma.

Dai sopralluoghi eseguiti (si veda abaco dei cinematismi di danno, codice alfanumerico **D2**) è stato possibile riscontrare la presenza di creste murarie a Sud della **Rocca di Cento**. Il perimetro descritto dai paramenti, fa pensare alla preesistenza di un *torrione* ivi collocato (fig. 151). I muri sono pieni, costituiti da laterizi messi in opera regolarmente, per uno spessore di circa 150 cm, ad altezza dell'attuale piano di campagna. È possibile constatare la presenza di lesioni, alcune passanti ed altre non passanti, ad andamento prevalentemente verticale, concentrate soprattutto in corrispondenza dei cantonali. Un'accurata analisi interpretativa del quadro fessurativo descritto, fornisce indicazioni preziose per capire le cause del crollo¹²⁸: È possibile infatti ipotizzare che il *torrione* sia stato oggetto di un meccanismo di ribaltamento globale.

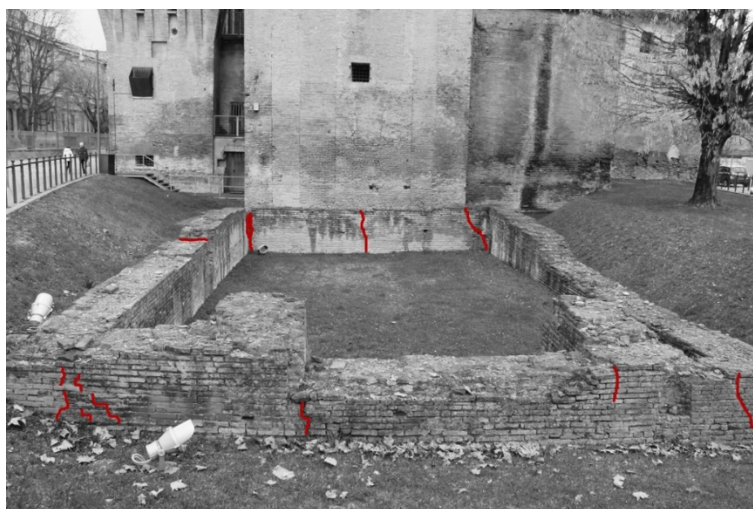


Figura 151 - *Rocca di Cento*, in evidenza i reperti del torrione isolato Sud. Vista da Sud

¹²⁸ Il crollo dell'elemento architettonico in oggetto, si è verificato precedentemente agli eventi tellurici del 2012. Il cinematismo in oggetto quindi non è imputabile al recente terremoto.

4.3.2 *Merli*

Le merlature, in seguito agli eventi tellurici del 2012, sono state danneggiate seguendo vari cinematismi di rottura¹²⁹.

Nella **Rocca di San Felice sul Panaro** tutte le parti sommitali delle *torri*, unici elementi architettonici sanfeliciani merlati, sono andate distrutte, ad eccezione delle merlature afferenti il torrione collocato a Sud-Est. Nel coronamento di quest'ultimo sono riscontrabili le classiche *lesioni* a 45° (fig. 152), dovute *all'azione di forze taglienti* agenti sotto sisma (si veda abaco dei cinematismi di danno, codice alfanumerico **G1**).

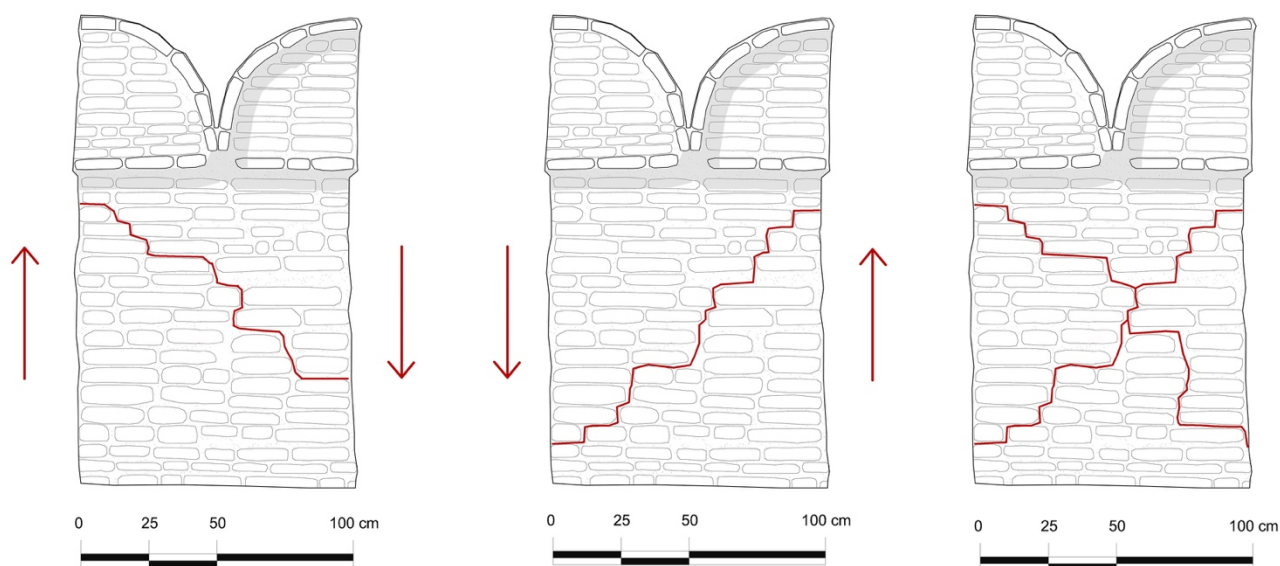


Figura 152 - *Rocca di San Felice sul Panaro*, torre Sud -Est, schema del cinematismo di danno che ha caratterizzato il dissesto delle merlature. Da sinistra verso destra: coppie di forze taglienti agenti separatamente sul medesimo merlo; situazione post sisma.

I rilievi effettuati mettono anche in evidenza l'espulsione di materiale, avvenuta simmetricamente rispetto la mezzeria, la quale interessa il terzo e quarto *merlo* partendo da Ovest e andando verso Est del lato Sud del *mastio* della fortezza sanfeliciana (fig. 153).

¹²⁹ Nel presente paragrafo vengono analizzati solo i cinematismi di danno che hanno interessato esclusivamente le merlature dei manufatti fortificati, infatti i meccanismi cui hanno preso parte sia i *merli* che i *beccatelli*, ovvero tutta la parte superiore dei *torrioni*, verranno descritti al paragrafo successivo.



Figura 153 – *Rocca di San Felice sul Panaro*, torre Sud -Est, lato Sud, rilievo delle merlature fessurate a taglio.

Nel **Castello delle Rocche di Finale Emilia** (si veda abaco dei cinematismi di danno, codice alfanumerico **G2**), i merli afferenti tutte le parti sommitali dei *torrioni* non crollate, ovvero quelli relativi le *torri* Sud-Ovest e Sud-Est, sembra che abbiano riportato le classiche *lesioni a 45°*, dovute alla presenza di forze taglienti, come visto poco sopra per la *Rocca di San Felice sul Panaro*. Tuttavia le opere provvisoriale presenti¹³⁰ non permettono l'accertamento del quadro fessurativo (fig. 154).



Figura 154 – *Castello delle Rocche di Finale Emilia*, torre Sud -Est, lato Sud, facciata Sud.

Le merlature della **Rocca di Reggiolo**, contrariamente a quanto riscontrato negli altri manufatti fortificati, non sembrano essere state danneggiate dagli eventi tellurici.

Dalle osservazioni sopra esposte, si può concludere che le forze sismiche hanno innescato cinematismi di danno esclusivamente nelle merlature non libere, ovvero quelle che sostenevano, con

¹³⁰ Secondo quanto potuto rilevare durante i sopralluoghi effettuati il 18-07-2014 ed il 10-03-2014.

l'ausilio di tamponamenti murari costruiti in epoche successive, pacchetti di copertura. Il comportamento sismico dei *merli* è influenzato in maniera negativa dalle *modifiche avvenute in epoche successive* a quella di costruzione. Infatti le caratteristiche geometriche iniziali, ovvero il rapporto base-altezza-spessore, cioè la snellezza poco accentuata, risultavano adatte a sopportare le forze sismiche. Le trasformazioni edilizie hanno modificato tuttavia la situazione strutturale delle merlature, rendendole non più un elemento architettonico indipendente, ma parte di un sistema integrato. I *merli* maggiormente danneggiati sono stati quelli in cui la forma delle strutture circostanti ne impediva gli spostamenti laterali.

È questo il caso delle merlature presenti nel *torresino* della facciata Sud del **Castello delle Rocche di Finale Emilia** (fig.155). I paramenti murari laterali (verso Ovest e verso Est) hanno costituito durante gli eventi sismici degli irrigidimenti, per cui i *merli* interposti hanno subito contemporaneamente sia le forze sismiche che la pressione degli speroni laterali in muratura. Questa composizione di forze ha salvaguardato l'elemento più massiccio ed ancorato all'intero complesso: i paramenti murari del *torresino*, mentre ha favorito la rottura dei *merli*, manifestatasi con fessurazioni a taglio non passanti.

Durante i sopralluoghi effettuati è stato infatti possibile constatare questo cinematismo soltanto dalle visite interne dei manufatti: esternamente le merlature in oggetto non manifestavano alcuna problematica.



Figura 155 – *Castello delle Rocche di Finale Emilia*, torresino della facciata Sud. Fessurazione delle merlature, vista dall'interno e dall'esterno.

4.3.3 *Beccatelli*

I cinematismi di danno che hanno interessato i *beccatelli* si sono sviluppati secondo modalità e importanza differenti in ciascun manufatto analizzato.

Nel **Castello delle Rocche di Finale Emilia** (si veda abaco dei cinematismi di danno, codice alfanumerico **A2**), è stata rilevata la presenza di fessure passanti che partono dal punto di giunzione dell'estremità superiore del *beccatello* alla *cortina muraria* e, con andamento obliquo, verso l'esterno e verso il basso, discendono fino a raggiungerne circa un terzo dell'altezza ed un terzo dello spessore massimo (fig. 156).



Figura 156 - *Castello delle Rocche di Finale Emilia*, torre Sud – Ovest. Ribaltamento dei beccatelli.

L'analisi del quadro fessurativo sopra descritto, ha permesso di osservare, nelle *torri* Sud-Est e Sud-Ovest, l'avvenuto innesco di un cinematismo di ribaltamento fuori dal piano dei *beccatelli* e dei *merli* sovrastanti.

I *beccatelli* più sollecitati e quindi maggiormente danneggiati, sono stati quelli collocati in posizione isolata e angolare rispetto l'intera fabbrica storica, poiché non avevano in adiacenza elementi architettonici in grado di contrastarne le oscillazioni indotte dagli eventi tellurici. Per questo motivo nelle *torri* i *beccatelli* più danneggiati sono quelli laterali, prospicienti verso l'esterno, mentre quelli non interessati da cinematismi di danno sono quelli afferenti altri corpi di fabbrica, in quanto questi ultimi risultano compresi tra due massicci *torrioni angolari*.

I *beccatelli* appartenenti al *torresino di ingresso*, possono essere considerati liberi e quindi rapportati, per quanto riguarda lo studio dei cinematismi di danno, a quelli laterali. L'apparato a sporgere del *torresino* è stato lesionato in corrispondenza dei *merli* mediante fessure a taglio non passanti, mentre non ha manifestato alcun cinematismo di danno in corrispondenza dei *beccatelli*.

Il danneggiamento dei *beccatelli* del *torresino* è stato quindi contrastato, con molta probabilità, dagli interventi di consolidamento messi in opera nella seconda metà del XX secolo, consistenti in un sistema di cordoli costituiti da profilati metallici tipo IPE (fig. 157).



Figura 157 – *Castello delle Rocche di Finale Emilia*. Torresino di ingresso, facciata Sud, IPE messa in opera in corrispondenza del piano di debolezza coincidente con lo stacco dell'arco.

I cinematismi appena presi in esame vanno analizzati alla luce delle modifiche strutturali apportate nel tempo alla fabbrica storica e degli interventi di presidio messi in opera durante le varie campagne di restauro.

Dall'osservazione della facciata Ovest del **Castello delle Rocche** è possibile individuare particolari che evidenziano alcune modifiche realizzate nel corso dei secoli. Ad esempio i paramenti murari messi in opera per tamponare le originarie merlature, sono arretrati rispetto il piano cui appartengono i *merli*. Inoltre i *beccatelli* non sono allineati verticalmente con le aperture ricavate nei tamponamenti intermerli (fig. 158).

Le irregolarità rilevate nell'edificio Ovest del complesso finalese, non hanno causato alcun cinematismo di danno nell'apparato a sporgere.

Tra gli interventi di presidio messi in opera più o meno recentemente, si possono includere tutti le *catene con capichiave* rilevati nel **Castello delle Rocche**, al fine di evitare fenomeni di fuoriuscita dal piano dei *beccatelli*. Questi presidi metallici, in conseguenza degli eventi tellurici, hanno provocato l'espulsione dei paramenti murari limitrofi (fig. 159). Il danneggiamento innescatosi è molto evidente in tutte le parti sommitali delle *torri angolari* e risulta maggiore nei casi in cui i *capichiave* non sono allineati verticalmente con i merli sovrastanti ed in corrispondenza dei beccatelli laterali, prospicienti verso l'esterno.

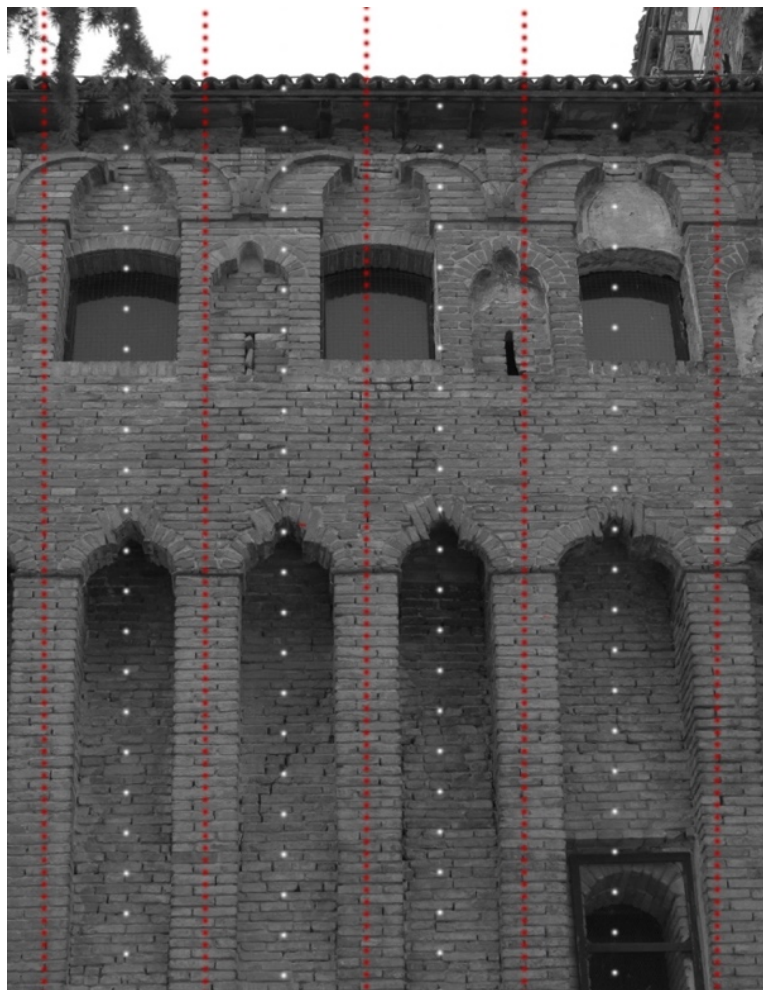


Figura 158 – *Castello delle Rocche di Finale Emilia*. Facciata Ovest. Griglia che evidenzia il disallineamento verticale fra beccatelli e tamponamenti tra merli.



Figura 159 - *Castello delle Rocche di Finale Emilia*, Torre Sud - Est, facciata Sud. Espulsione dei paramenti murari circostanti i capichiave.

Le *catene* complete di *capichiave* sono presidi antisismici utilizzati fin dall'antichità per contrastare i meccanismi di ribaltamento delle pareti dovuti a forze sismiche e per assicurare, attraverso uno stato di precompressione, il raggiungimento di un adeguato momento resistente. L'azione di ciascun tirante

è necessaria per impedire il collasso delle pareti interessate e quindi per prevenirne anche il precedente stato fessurativo. Iniziano a esercitare la loro azione solo se sottoposti a trazione.

Vengono disposti perpendicolarmente alle pareti che potrebbero essere interessate dal meccanismo di danno. Nel caso in esame i *tiranti* sono stati distribuiti, durante interventi di consolidamento strutturale, con passo regolare, in corrispondenza di tutte le parti sommitali delle *torri*, nella fascia muraria compresa tra il punto di stacco dei *beccatelli* e l'inizio dei *merli*. Durante la messa in sicurezza post sisma della fortificazione finalese, sono stati messi in opera anche altre *catene* con *capichiave* (fig. 160), nel corpo principale di ciascun *torrione*. In questo caso essi sono stati allineati verticalmente in corrispondenza delle estremità di ciascuna facciata e ad intervalli regolari in altezza.

I cinematismi di rottura si modificano in seguito all'inserimento di ciascuna catena.

Le osservazioni sopra riportate hanno permesso di constatare che i meccanismi di danno possono manifestarsi anche in presenza di questi presidi antisismici, ma le modalità di innesco e di sviluppo risultano differenti, infatti seppur la qualità muraria sia importante, in molti casi è lo schema statico formato dai vincoli a prevalere.

Uno dei cinematismi più frequenti è il ribaltamento della facciata in corrispondenza dell'*apparato a sporgere*. Il cinematismo sopra menzionato si è manifestato in corrispondenza di tutti i piani sottotetto perché le cerniere di rotazione si sono manifestate a livello dell'ultimo solaio (fig. 161).

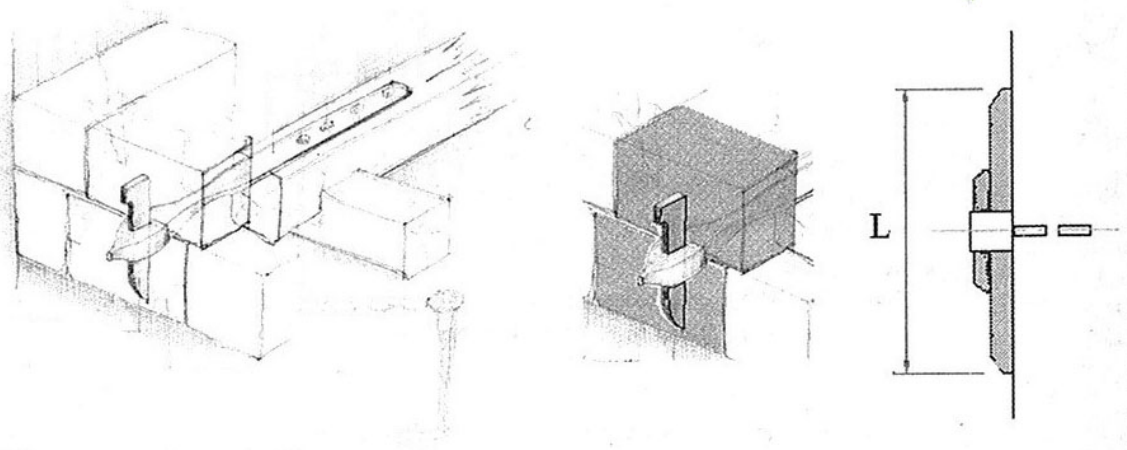


Figura 160 - Castello delle Rocche di Finale Emilia, schematizzazione *capichiave* messi in opera nelle parti sommitali dei torrioni.



Figura 161 - *Castello delle Rocche di Finale Emilia*, a sinistra torre Nord - Ovest, facciata Nord, capichiave messi in opera nel corpo centrale della torre, in seguito agli eventi sismici del 2012. A destra, torre Sud - Ovest, angolo Sud - Est, capichiave messi in opera in corrispondenza dell'apparato a sporgere, durante campagne di restauro statico.

I *tiranti* messi in opera durante recenti campagne di restauro, in corrispondenza delle parti sommitali, sono stati testati dallo sciame sismico del 2012, quelli invece posizionati come opere di sicurezza post sisma, non avendo ancora contrastato alcuna importante azione tellurica, non sono entrati in azione e quindi non hanno neanche provocato l'espulsione del paramento murario ad essi limitrofo.

Una frequente criticità di questa tipologia di presidi antisismici consiste nella sezione di contatto tra la barra metallica e la muratura, in corrispondenza di questa zona si vengono infatti a creare elevati stati tensionali. L'efficacia dei tiranti¹³¹ è direttamente proporzionale alla capacità di diffusione degli sforzi nella muratura di contrasto, la quale dipende dalla tipologia delle piastre messe in opera in corrispondenza dei *capichiave*¹³².

Altra caratteristica costruttiva importante per l'efficacia di questa tipologia di presidio sismico, consiste nell'inclinazione dei *capichiave* rispetto all'orizzontale. L'inclinazione ottimale è compresa tra i 30° e i 60°. Altre inclinazioni sono sconsigliate: il *capochiave*, se disposto orizzontalmente, rischia di

¹³¹ Sistro Mastrodicasa analizza approfonditamente il consolidamento delle murature attraverso la posa in opera di tiranti metallici. A tal proposito evidenzia che “[...] alcuni tecnici avversano l'impiego dei tiranti metallici nel timore che le azioni localizzate dai loro ritegni terminali possano vulnerare la coesione della massa muraria e, sconnettendola, venir meno al loro compito [...], ma l'esperienza insegna che l'impiego accorto e prudente dei tiranti è fecondo di risultati soddisfacenti dal lato tecnico [...]. L'altra obiezione mossa contro i tiranti metallici, è questa: i tiranti non eliminano la causa del turbamento; ma la fronteggiano e, opponendo la forza alla forza, curano il male nei suoi effetti invece di eliminarne le cause. [...] In molti casi dunque è necessario [...] accontentarsi di soluzioni nelle apparenze meno logiche, ma più rispondenti alle concrete esigenze della pratica. Di questo indirizzo tecnico i tiranti metallici offrono, forse, l'esempio più caratteristico. [...] È necessario ben ricordare che i tiranti mirano solo a stabilizzare le deformazioni già create, impedendone ulteriori sviluppi [...]” (S. Mastrodicasa, *Dissesti statici delle strutture edilizie*, Hoepli, Milano 1993, pp. 369-370).

¹³² *Ivi*, pp. 370-372.

conficcarsi nel giunto di malta e non offrire il contrasto necessario; se disposto verticalmente invece rischia di sfilarsi durante i momenti più critici, ovvero quelli di tiro e di allentamento.

A questo proposito va evidenziato che i *capichiave* messi in opera precedentemente al 2012 hanno direzione pressoché verticale, mentre quelli più nuovi, presentano inclinazioni assimilabili a quelle ottimali.

Anche nella **Rocca di Reggiolo** si sono innescati meccanismi di ribaltamento (fig. 162) in corrispondenza delle parti sommitali dei *torrioni* Nord-Est e Nord-Ovest (si veda abaco dei cinematismi, codice alfanumerico **A3**)¹³³.

Il quadro fessurativo evidenzia la presenza di lesioni che partono dal punto di contatto tra *cinta muraria* e *torri* e proseguono verso il basso, con andamento non perfettamente verticale e ampiezza variabile, sia lungo una stessa lesione che tra le varie fessure creatisi (fig. 163).

È stato rilevato che le lesioni più importanti, sia in termini di spessore che di lunghezza, si sono formate in corrispondenza della *torre* Nord-Est, lato Nord, mentre nella facciata Est del medesimo *torrione*, non è facilmente identificabile un quadro fessurativo. Nel primo caso si è verificata anche espulsione di materia.

Per quanto riguarda invece la *torre* Nord-Ovest, è stato constatato che i cinematismi si sono manifestati in maniera meno marcata.

La causa scatenante i meccanismi di danno in oggetto non può essere ricercata nella differenza di altezza tra i *torrioni* e le *cinte murarie* o *corpi di fabbrica* adiacenti, in quanto nelle *torri* afferenti la facciata Sud, seppur anche esse hanno altezza superiore agli elementi vicini, non sono state evidenziate lesioni dovute a questa tipologia di dissesto; quanto piuttosto nei rapporti intercorrenti tra macro-elementi architettonici.

Si può quindi ipotizzare che l'azione sismica abbia danneggiato in maniera preponderante la *torre* Nord-Est, lato Nord, in quanto la facciata Est è vincolata all'imponente corpo ubicato Est, mentre il lato Nord risulta maggiormente vulnerabile, poichè addossato ad una semplice *cinta muraria*. Entrambe le facciate della *torre* Nord-Ovest sono addossate a *cinte murarie*, esse hanno risposto all'azione sismica come elementi vulnerabili e si sono lesionate come effetto dell'innescarsi di meccanismi di ribaltamento.

¹³³ Nell'abaco dei cinematismi, il meccanismo rilevato nella Rocca di Reggiolo, è stato descritto come ribaltamento fuori dal piano dell'apparato a sporgere, per analogia con i fenomeni di dissesto individuati in corrispondenza di altre fortificazioni. Si evidenzia nuovamente che la Rocca di Reggiolo non è dotata di un alcun apparato a sporgere e quindi il ribaltamento ha semplicemente interessato le parti sommitali dei torrioni.

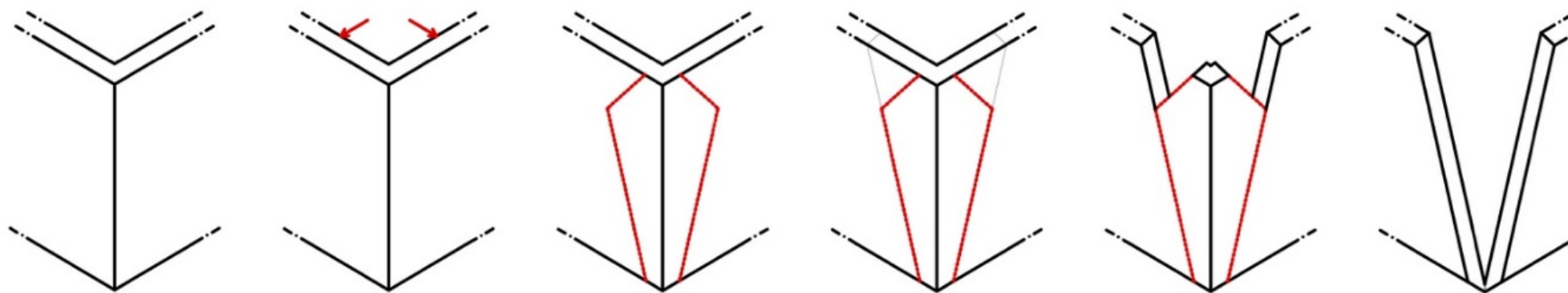


Figura 162 - *Rocca di Reggiolo*, schema del cinematismo di ribaltamento che ha caratterizzato le fasi di dissesto delle *torri* Nord-Est e Nord-Ovest. Da sinistra verso destra: situazione ante sisma; schematizzazione azione sismica; situazione post sisma (successione dell'innesco dei vari meccanismi di ribaltamento e possibili effetti dei ribaltamenti).

L'interpretazione del quadro fessurativo lascia ipotizzare un buon grado di ammortamento tra le *torri* Nord-Est e Nord-Ovest e i macroelementi architettonici ad esse adiacenti, in quanto le lesioni delimitano, più o meno nettamente, cunei murari prossimi al ribaltamento, i cui vertici non corrispondono al confine tra gli stessi elementi presi in considerazione.



Figura 163 - *Rocca di Reggiolo*. A destra *torre* Nord-Est, facciata Nord, a sinistra *torre* Nord-Ovest, facciata Ovest. Rilievo del quadro fessurativo.

Nella **Rocca di Vignola** i *beccatelli* appartenenti alla *torre* Sud-Ovest hanno preso parte ad un meccanismo di ribaltamento fuori dal piano (si veda abaco dei cinematismi, codice alfanumerico **A1**). In questo cinematismo sono stati coinvolti anche i *merli* sovrastanti. Questi ultimi infatti, in quanto sovrastanti e sorretti dai *beccatelli* interessati, seppur non avendo riportato alcun tipo di fessurazione a taglio, sono stati complessivamente trascinati nel meccanismo in oggetto.

In questo complesso fortificato il ribaltamento fuori dal piano della parte sommitale del *torrione* Sud-Ovest è stato rilevato principalmente in maniera indiretta, ovvero dall'analisi della tipologia delle opere provvisorie montate nella situazione di emergenza post-sisma, piuttosto che dal rilievo del relativo quadro fessurativo.

Le uniche lesioni visibili in sede di sopralluogo sono infatti quelle riscontrabili in corrispondenza del lato Nord della *torre* in oggetto. Si tratta di tre lesioni non passanti, collocate nella fascia muraria compresa tra la linea di stacco dei beccatelli e quella di inizio dei merli. La fessurazione centrale, ad andamento all'incirca verticale, coincide con la linea di mezzeria della facciata, si restringe andando dall'alto verso il basso. Le altre due lesioni, simmetriche rispetto la linea scandita dalla lesione appena presa in oggetto, hanno andamento diagonale: si distanziano dal centro scendendo verso il basso. L'analisi del quadro fessurativo denota massimi spostamenti in mezzeria, lasciando ipotizzare un buon grado di ammortamento con le pareti circostanti.

L'interpretazione del quadro fessurativo (fig. 164) appena descritto permette di capire che la parete presa in esame ha risposto alla componente dell'azione sismica ad essa perpendicolare, in maniera simmetrica rispetto la mezzeria. Si sono manifestate in questa maniera tante cerniere cilindriche aventi forma di arco, tra loro parallele. Tutti i punti di chiave degli archi creatisi, delineano la fessura di mezzeria (figg. 165-166).

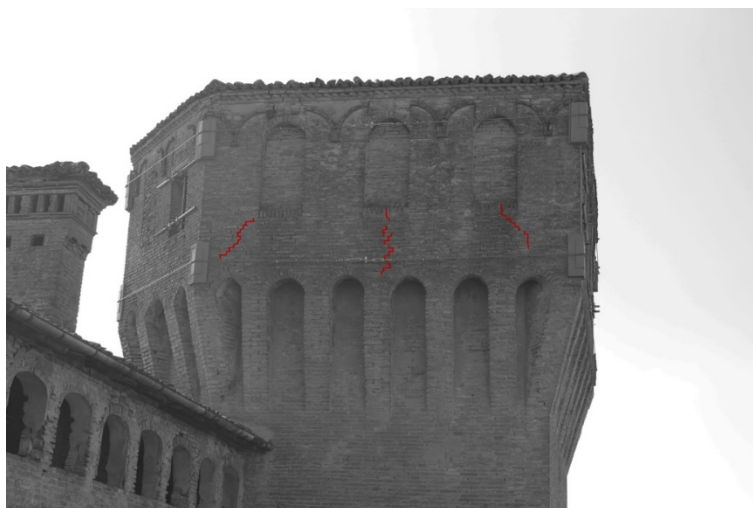


Figura 164 – *Rocca di Vignola*, torre Sud – Ovest, facciata Nord. Rilievo del quadro fessurativo.

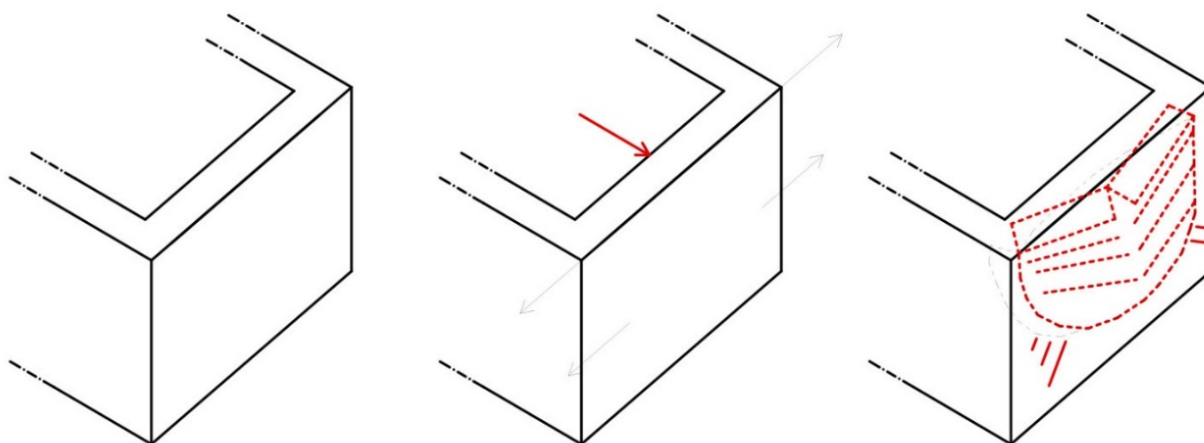


Figura 165 - *Rocca di Vignola*, schema del cinematismo di danno che ha caratterizzato le fasi di dissesto della torre Sud-Ovest, facciata Nord. Da sinistra verso destra: situazione ante sisma; schematizzazione azione sismica; situazione post sisma (innescio dei meccanismi di ribaltamento e rilievo del quadro fessurativo).

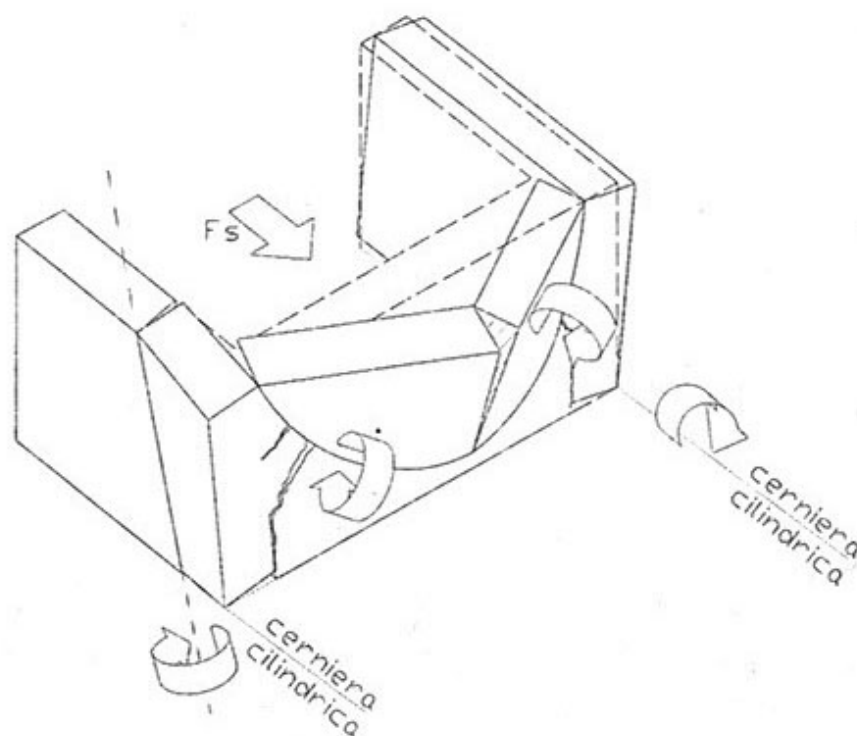


Figura 166 - Schema del cinematismo di danno composto individuabile dall'interpretazione del quadro fessurativo che ha caratterizzato la torre Sud - Ovest, facciata Nord della *Rocca di Vignola*.

Dall'analisi dei cinematismi di danno che hanno interessato i *beccatelli* delle rocche appena prese in esame, non è possibile riscontrare un filo conduttore comune.

Infatti il **Castello delle Rocche di Finale Emilia** e la **Rocca di Vignola**, entrambi dotati di apparato a sporgere, hanno riportato lesioni di tipologia totalmente differente. Tuttavia in entrambi i casi il punto di debolezza può essere collocato in corrispondenza del piano di stacco dell'arco dei *beccatelli*, a causa della variazione della sezione muraria.

Questa criticità non può ritenersi valida per l'innescò dei cinematismi di danno della **Rocca di Reggiolo**, in quanto sprovvista di apparato a sporgere. Per questo manufatto fortificato le cause del dissesto descritto nei paragrafi precedenti vanno ricercate nella posizione reciproca dei macroelementi architettonici e nella qualità degli ammorsamenti murari presenti tra essi.

Un'altra tipologia di ribaltamento fuori dal piano, è stata rilevata solo nel corpo Nord della **Rocca di San Felice sul Panaro**, in corrispondenza degli apparati murari localizzati tra merli e *beccatelli* della facciata Sud, si è manifestato un quadro fessurativo unico nei fra tutti i casi di studio catalogati (si veda l'abaco dei cinematismi di danno, codice alfanumerico **C1**). Il punto di stacco dei *beccatelli*, cioè la linea che immaginariamente collega i conci di chiave degli archi che disegnano il profilo di questi ultimi, viene palesata da un insieme di lesioni continue (figg. 167-168).

L'andamento pressoché orizzontale delle fessure lascia intuire¹³⁴ la presenza di un cordolo ligneo, posizionato all'interno dei bancali in muratura dell'apparato a sporgere, sorretti dai *beccatelli*, che si sia comportato come una cerniera orizzontale (fig. 169), causa dell'innescò del ribaltamento di tutti gli apparati sovrastanti.



Figura 167 - *Rocca di San Felice sul Panaro*, vista Nord. Le lesioni risarcite con malta chiara, evidenziate in rosso, ricalcano la presenza di una cerniera orizzontale.



Figura 168 - *Rocca di San Felice sul Panaro*, vista Nord-Ovest. Le lesioni risarcite con malta chiara, evidenziate in rosso, ricalcano la presenza di una cerniera orizzontale.

¹³⁴ Risulterebbe particolarmente interessante eseguire indagini diagnostiche per poter capire le tecniche messe in opera per la costruzione degli apparati murari interessati. Queste indagini rappresentano l'esclusivo metodo per poter appurare se le supposizioni effettuate in merito, siano o meno fondate. Sfruttando i cinematismi di danno innescatisi infatti non è possibile accertare la presenza del presunto cordolo ligneo ad altezza del punto di spicco dei beccatelli.

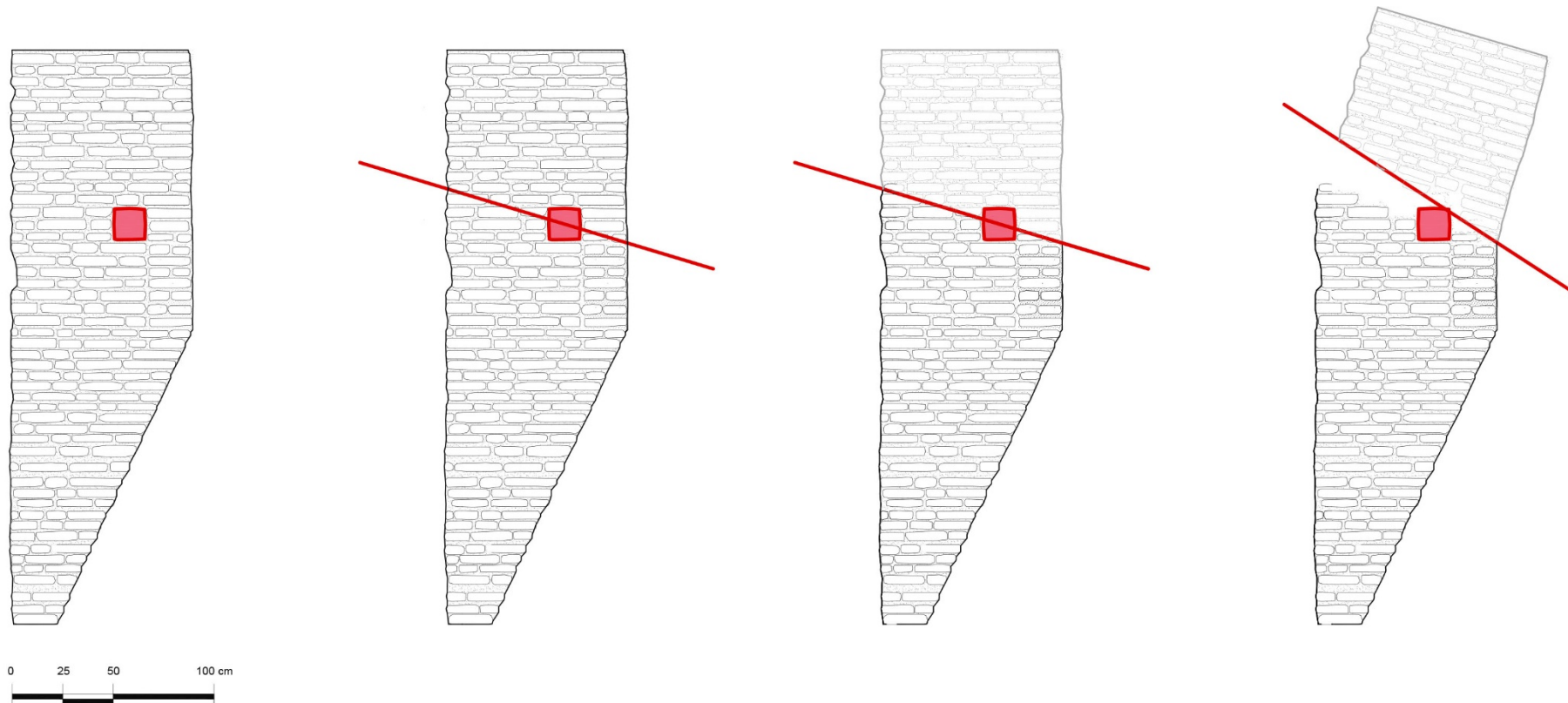


Figura 169 – Ipotetica sezione dell'apparato a sporgere (porzione che comprende i beccatelli e i bancali sovrastanti). Innesco ed eventuale sviluppo del ribaltamento fuori dal piano, attorno alla cerniera cilindrica coincidente con il cordolo ligneo (campito in rosso). In rosso linea critica di ribaltamento.

Gran parte degli apparati a sporgere della **Rocca di San Felice sul Panaro** e del **Castello delle Rocche di Finale Emilia** è stata distrutta dallo sciame sismico del 2012.

Si presuppone che gli apparati a sporgere siano stati oggetto di meccanismi di ribaltamento fuori dal piano molto accentuati, i quali insieme a possibili "effetti seghetta" precedentemente descritti, ne hanno provocato il crollo.

A causa delle opere provvisorie utilizzate per evitare lo spargimento di polveri provenienti dai reperti, nell'ambiente circostante, non è possibile rilevare il profilo e la tipologia delle creste murarie rinvenute, fattore importante per indagare meglio la natura dei dissesti.

Nel caso di San Felice sul Panaro, si può asserire che ad eccezione del *mastio*, tutte le *torri* sono state oggetto di ingenti crolli ed attualmente le loro altezze sono diventate uguali a quelle dei *corpi di fabbrica* adiacenti (fig. 170).

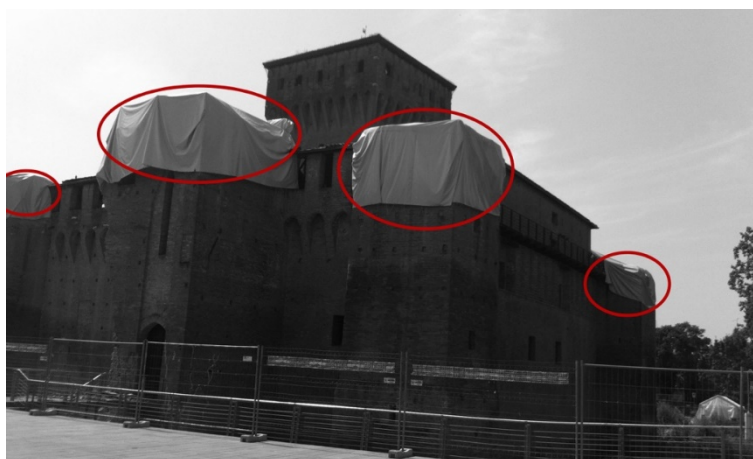


Figura 170 - *Rocca di San Felice sul Panaro*, in evidenza i reperti delle *torri*. Vista da Nord - Ovest.

Le stesse osservazioni possono essere reiterate per il **Castello delle Rocche di Finale Emilia**. I plausibili ribaltamenti fuori dal piano dell'apparato a sporgere, in questo manufatto hanno interessato la *torre* Nord-Ovest. I crolli avvenuti in seguito ai cinematismi di ribaltamento hanno cancellato per sempre i *merli*, preservando invece la quasi totalità dei *beccatelli* (figg. 171-172).

Il manufatto di **Vignola** e quello di **Cento** non hanno riportato alcun genere di danno in corrispondenza dei beccatelli.

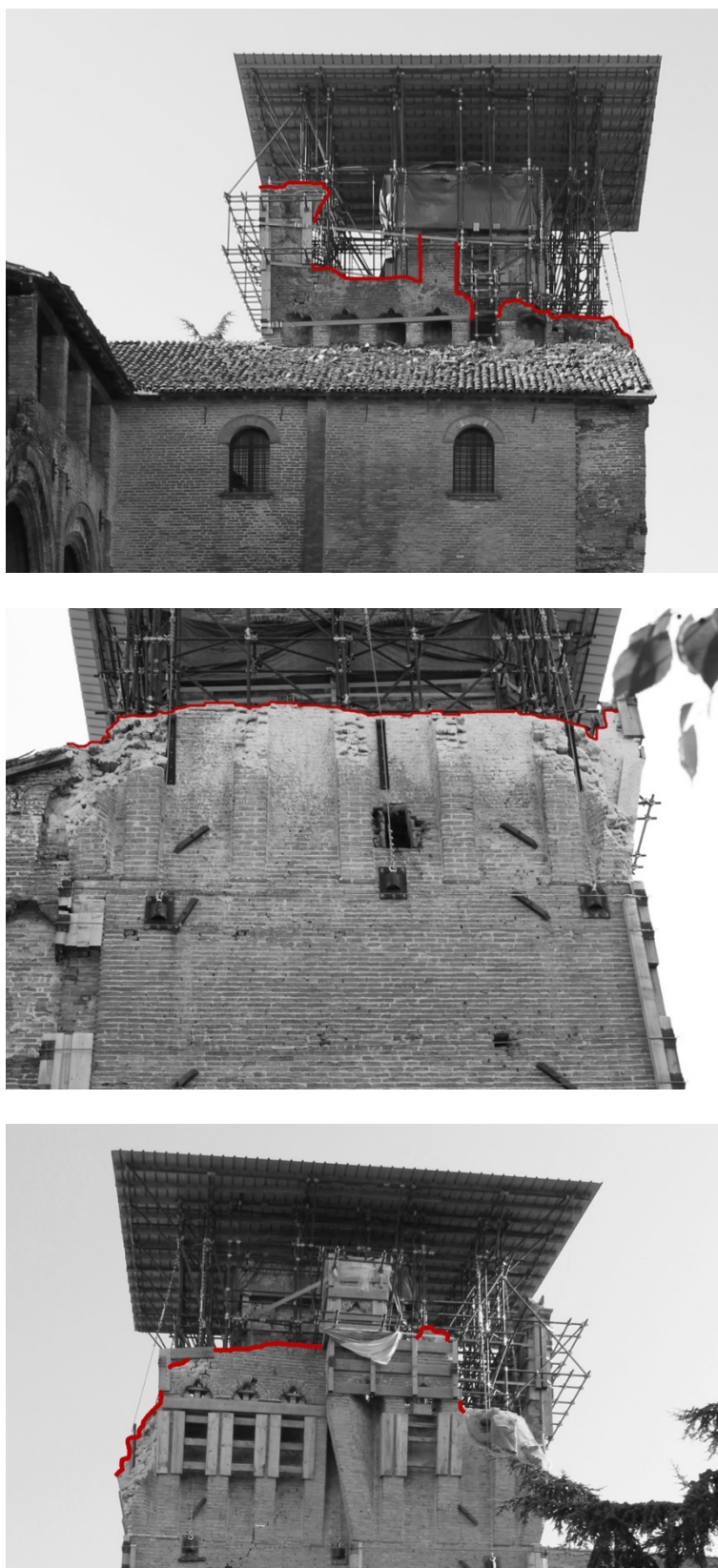


Figura 171 - *Castello delle Rocche di Finale Emilia*, reperti della torre Nord - Ovest. Viste da Est, da Nord e da Ovest.

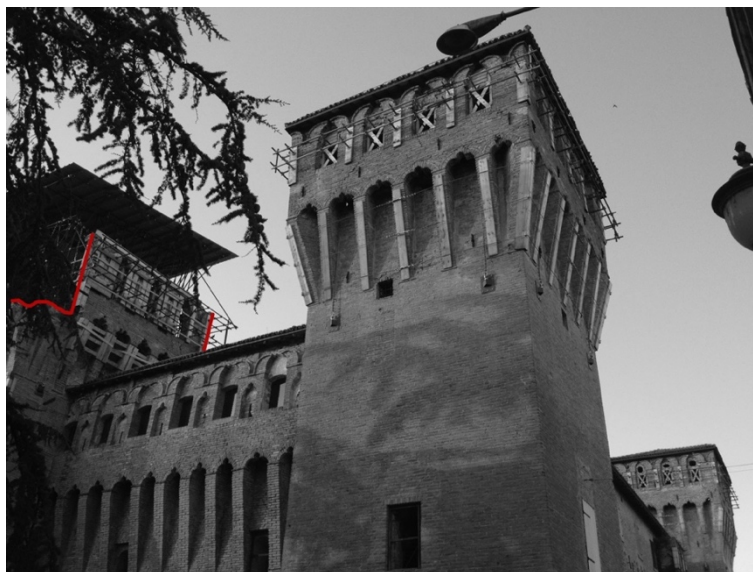


Figura 172 - *Castello delle Rocche di Finale Emilia*, reperti della *torre Nord - Ovest*. Vista da Sud - Ovest.

4.3.4 *Impalcati*

Nelle strutture fortificate indagate non sono state trovate orditure di piano, ad eccezione di quelle in C.A., delle quali si è già parlato, in quanto i manufatti erano spesso internamente inaccessibili. Gli unici solai lignei rilevati (originari o postumi) appartengono alla **Rocca di Vignola**. I rilievi realizzati durante i sopralluoghi non hanno evidenziato un numero elevato di cinematismi relativi agli *impalcati*. Per quanto accertabile, le uniche strutture fortificate che hanno riportato danni agli *impalcati* (di copertura) sono la **Rocca di San Felice sul Panaro** e il **Castello delle Rocche di Finale Emilia** (fig. 173).

Nella prima, come già esposto precedentemente, ad eccezione del *mastio*, tutte le coperture delle torri sono andate distrutte.

La porzione di rocca finalese interessata è invece ascrivibile, oltre che al piano di copertura del *mastio*, al *loggiate* cinquecentesco, progettato da Giovanni da Siena (si veda l'abaco dei cinematismi, con codice alfanumerico **I2**). Di questo elemento architettonico, costituito originariamente da due ordini di archi a tutto sesto, sormontati da un terzo ordine, a livello del sottotetto, bucato da aperture rettangolari, ad oggi si sono conservati esclusivamente i due ordini inferiori, mentre la porzione afferente il terzo ordine, è andata distrutta per circa metà di tutto il suo iniziale sviluppo (fig. 174). L'analisi del crollo e delle macerie mostra la stratigrafia dell'impalcato di copertura messo in opera durante recenti campagne di restauro. Sono identificabili: rete elettrosaldata, tavole in laterizio, lastra in calcestruzzo e strato di impermeabilizzazione, probabilmente in carta catramata (fig. 175).

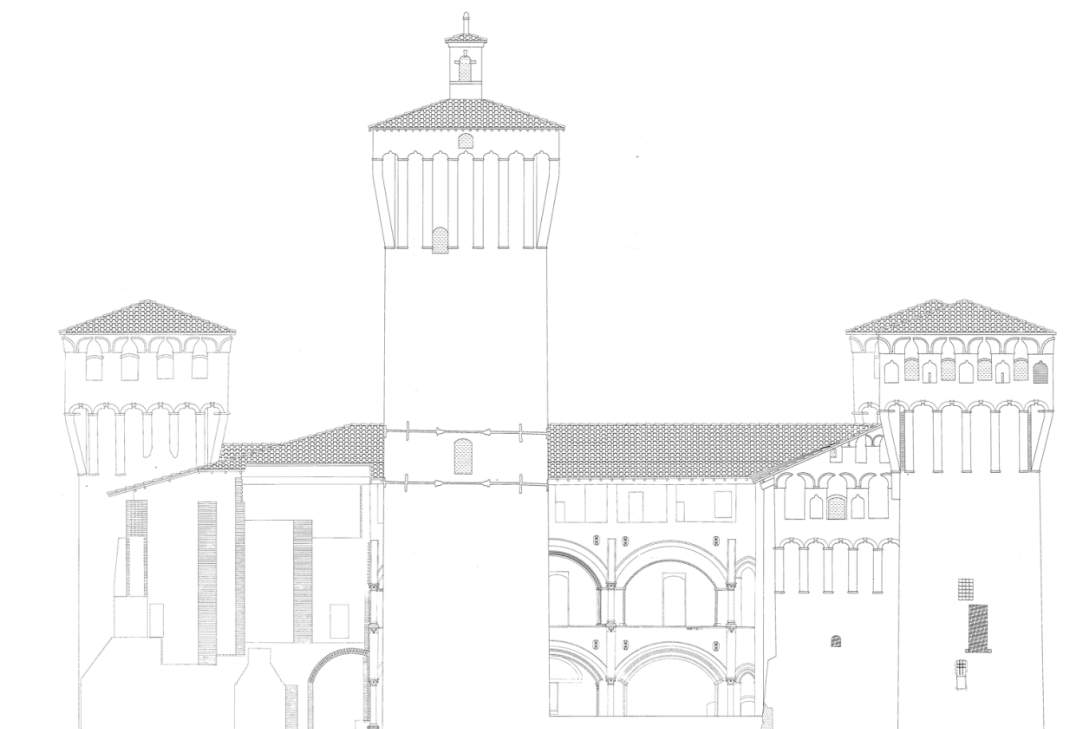


Figura 173 - Castello delle Rocche di Finale Emilia, prospetto Nord, ante sisma.

È evidente che le masse aggiunte in sommità durante gli interventi di consolidamento strutturale, hanno rappresentato una condizione peggiorativa nella risposta che il complesso ha fornito all'azione sismica, cioè lo hanno reso maggiormente vulnerabile, come già spiegato a proposito dell'”*effetto seghetta*”.



Figura 174 - *Castello delle Rocche di Finale Emilia*, prospetto Nord, loggiato con evidenza dei crolli.



Figura 175 - *Castello delle Rocche di Finale Emilia*, prospetto Nord, particolare dei crolli del loggiato causati dal sisma.

4.3.5 *Strutture di copertura*

Oltre alle *coperture* ridotte in macerie, dopo crolli causati da cinematismi relativi gli apparati a sporgere o le parti basamentali delle *torri*, manifestatisi negli esemplari fortificati analizzati, non sono stati rilevati meccanismi di danno relativi questa porzione architettonica.

L'unica eccezione è costituita dalla *torre Nord-Est* o *torre Nonantolana* della **Rocca di Vignola** (si veda abaco dei cinematismi, codice alfanumerico **E1**). In corrispondenza del cuneo murario in cui è appoggiato il puntone disposto lungo la diagonale Nord-Est della *copertura*, è stato rilevato un quadro fessurativo costituito da un insieme di lesioni non passanti (fig. 176), caratterizzate da andamento diagonale nella parete Nord (fig. 177) e da direzione circa verticale nella parete Est (fig. 178). Tutte le fessure hanno spessore pari approssimativamente a 1 cm.

L'analisi del rilievo del danno permette di ipotizzare che si tratti di un caso di flessione orizzontale di parete.



Figura 176 - *Rocca di Vignola*, torre Nord - Est, vista interna angolo Nord - Est, lesioni lato Nord.



Figura 177 - *Rocca di Vignola*, torre Nord - Est, vista interna angolo Nord - Est, particolare lesioni lato Nord.



Figura 178 - *Rocca di Vignola*, torre Nord - Est, vista interna angolo Nord - Est, particolare lesioni lato Est.

Gli orizzontamenti conferiscono maggior stabilità alla struttura solo quando ogni elemento presente viene sfruttato per creare valide connessioni. Un accorgimento costruttivo semplice ed efficace consiste nel sagomare appropriatamente gli appoggi, cioè nel fare in modo che le testate delle travi lignee appoggino nella muratura sfruttando esclusivamente sezioni orizzontali.

Nel caso in esame è possibile quindi ipotizzare che i dissesti siano stati provocati da una situazione degli appoggi elementi lignei – muratura non ottimale, ovvero “[...] *la connessione fra le strutture portanti non realizza un efficace irrigidimento ai nodi* [...]”¹³⁵.

Le zone di innesto delle travi nella muratura (fig. 179) infatti sopportano concentrazioni di sforzi molto elevati, i quali influiscono sulla formazione del quadro fessurativo, determinando le dimensioni del cuneo di distacco nella parete parallela alla direzione del sisma e lo sfilamento delle orditure, accompagnato dall’eventuale ribaltamento della parete, nel muro con direzione ortogonale a quella del sisma¹³⁶.

L’effetto negativo è rappresentato dal fatto che le travi trasmettono le azioni orizzontali al cuneo appoggiato al muro stabile, per cui si ha un incremento del momento spingente, mentre il momento resistente non viene altrettanto incrementato.

*“[...] Le orditure dei proventi [...] possono far insorgere spinte orizzontali pericolose per la stabilità globale, soprattutto quando applicate al livello sommitale dell’edificio, più esposte all’azione delle sollecitazioni orizzontali, poiché non risulta stabilizzata dall’azione gravitativa di strutture sovrastanti [...]”*¹³⁷.

¹³⁵ S. Mastrodicasa, *op. cit.*, p. 297.

¹³⁶ Bellina definisce il meccanismo di “[...] *spinte localizzate del tetto* [...]” come l’insieme di “[...] *crolli o sfogliamenti di parti localizzate di muratura in prossimità del tetto dovuti alla spinta fuori piano di quest’ultimo. Si manifesta all’esterno con crolli [...] di porzioni [...] di muratura* [...]” (cfr. F. Doglioni, A. Moretti, V. Petrini, *op. cit.*, p. 163).

¹³⁷ G. Cangì, *Manuale del Recupero...*, p. 224.

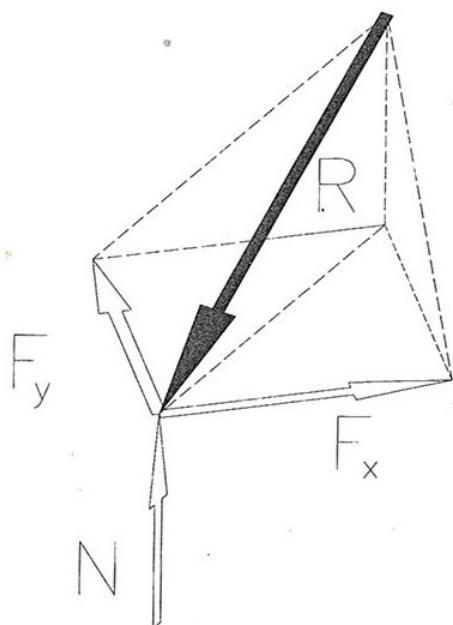


Figura 179 – Schematizzazione delle forze in gioco in corrispondenza del punto di appoggio del puntone ligneo nella muratura.

4.4 Opere provvisionali

In seguito agli eventi sismici del maggio 2012, per evitare il progredire di ulteriori cinematismi di danno causati dalla mancata tempestiva messa in sicurezza, sono stati montati, nella maggior parte delle strutture fortificate prese in considerazione, apparecchi provvisionali.

Per far fronte alle emergenze sviluppatesi a causa di precedenti eventi calamitosi, è stato realizzato, da parte dai Vigili del Fuoco, un “[...] *Vademecum di schede tecniche riguardanti le soluzioni progettuali delle opere provvisionali più ricorrenti per la messa in sicurezza dei manufatti danneggiati, quali puntelli di ritegno e di sostegno, tirantature, cerchiature, ecc., compresi i relativi particolari costruttivi (connessioni tra gli elementi, vincoli, nodi, ecc.) [...]. Gli schemi e gli abachi, basati su presupposti tecnici rigorosi, hanno messo a frutto [...] l’esperienza [...] acquisita sia in occasione del sisma d’Abruzzo che nelle passate calamità, attraverso un meccanismo del tipo “work in progress” [...]*”¹³⁸.

La necessità di intervenire immediatamente e in maniera diffusa nelle aree colpite, pone anche problemi relativi alla tipologia dei materiali da impiegare. Questi ultimi infatti devono essere disponibili in zona, manovrabili facilmente, lavorabili agevolmente e per quanto possibile anche poco costosi. Per le motivazioni sopra esposte, l’acciaio e il legno sono i due materiali più utilizzati per la realizzazione di opere provvisionali, tanto versatili da poter essere impiegati in moltissime forme differenti.

Le tipologie più diffuse di opere provvisionali sono¹³⁹:

- *Puntellatura di ritegno in legno*, per evitare il ribaltamento o lo spanciamiento di pareti murarie fuori piano.
- *Puntellatura di contrasto in legno*, per evitare il ribaltamento o lo spanciamiento di pareti murarie fuori piano. Sfrutta la possibilità di trasferire i carichi orizzontali ad un edificio prospiciente.
- *Puntelli di sostegno e sbadacchiatura aperture, in legno*, atti a contrastare la caduta della parte muraria al di sopra delle aperture e la conseguente possibile perdita d’appoggio del solaio soprastante. Possono inoltre contrastare l’eccessiva deformazione dei maschi murari posti lateralmente al vano.
- *Puntelli di sostegno solai e balconi, in legno*, per sorreggere i carichi gravanti su un solaio o un balcone, evitando il progredire dei fenomeni fessurativi e/o di inflessione della struttura.
- *Centinatura in legno di archi e volte*, evitare il crollo di archi o volte in muratura danneggiati.

¹³⁸ Ministero dell’Interno, Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco, Università degli Studi di Udine, *Manuale opere provvisionali, l’intervento tecnico urgente in emergenza sismica*, Tipografia INAIL, Milano 2011, p. 16.

¹³⁹ *Ivi*, pp. 65-172.

- *Tirantatura con funi in acciaio*, per evitare il ribaltamento o lo spanciamento di pareti murarie fuori piano.
- *Cerchiatura di confinamento pilastri e colonne*, consiste nella fasciatura di tali elementi portanti con brache in poliestere ed è finalizzata ad incrementarne la resistenza e la duttilità a seguito di un dissesto evidente.
- *Incamiciatura di pareti in muratura dissestate*, realizzata mediante due graticci in legno vincolati tra loro da tiranti in acciaio, passanti attraverso la parete. L'intervento è indicato nei casi di pannelli murari spanciati.

Nei manufatti fortificati censiti, durante i sopralluoghi realizzati, è stata presa visione degli apparecchi provvisori di seguito descritti.

Nel *Castello di Poggio Renatico*, la messa in sicurezza è stata effettuata esclusivamente in corrispondenza della *Torre dell'Orologio*. I reperti di quest'ultima sono stati messi al riparo mediante una copertura costituita da onduline metalliche, sorretta da una struttura lignea (fig. 180).



Figura 180 – Opere provvisori, *Castello di Poggio Renatico*.

Nel *Castello Estense di Ferrara* è stato possibile constatare che il ribaltamento della balaustra in pietra del terrazzo Nord è stato evitato attraverso un tavolato ligneo ed alcuni trefoli in acciaio (fig. 181), messi in opera come se fossero delle cerchiature.



Figura 181 - Opere provvisionali, *Castello Estense di Ferrara*.

Le aperture più grandi della torretta che sormonta la porta di accesso della *Rocca dei Gonzaga di Novellara*, ovvero quelle ubicate in corrispondenza del primo ordine, sono state messe in sicurezza mediante intelaiature lignee (fig. 182).



Figura 182 - Opere provvisionali, *Rocca dei Gonzaga di Novellara*.

Lo stesso dicasi per le finestre del *Forte Estense di Bondeno*. In questo caso gli apprestamenti provvisionali sono costituiti da puntelli lignei a forma di croce di Sant'Andrea. I maschi murari sono

stati invece messi in sicurezza con trefoli metallici messi in opera come se fossero cerchiature, avendo cura di predisporre angolari lignei per preservarne gli spigoli murari (fig. 183).



Figura 183 - Opere provvisionali, *Forte Estense di Bondeno*.

Un sistema costituito da trefoli-cerchiatura, paraspigoli e puntelli¹⁴⁰, è stato rinvenuto in corrispondenza delle lanterne che sormontano entrambi i torrioni del *Castello Campori di Soliera*. In questa fabbrica storica anche le parti sommitali di detti *torrioni* sono state messe in sicurezza (fig. 184). Per scongiurarne il ribaltamento, sono stati utilizzati capochiave metallici affiancati da paraspigoli e cerchiature, anch'essi metallici.



Figura 184 - Opere provvisionali, *Castello Campori di Soliera*.

Nel *Castello dei Pico di Mirandola*, gli spazi in antichità occupati dalle *ventiere*, oggi sono stati riempiti da puntelli ed intelaiature lignee (fig. 185). La stessa tipologia di presidio antisismico è stata messa in opera anche in corrispondenza di tutte le aperture. Inoltre nell'*edificio* e nella *torre* principale, sono stati installati, post-sisma, tiranti con capochiave metallici, per rafforzare l'azione antiribaltamento della

¹⁴⁰ In questo caso tutti gli elementi messi in opera sono metallici.

stessa tipologia di presidi messi in opera precedentemente agli eventi sismici. In particolare questi ultimi sono collocati ad altezza del I e del II ordine nell'*edificio*, e del II e III ordine nella *torre* principale.



Figura 185 - Opere provvisionali, Castello dei Pico di Mirandola.

Per quanto riguarda la *Rocca di Reggiolo*, sono stati messi in opera tiranti metallici e telai lignei in corrispondenza delle parti sommitali delle *torri* Nord-Est e Nord-Ovest, per evitare il progredire del ribaltamento delle parti sommitali. Inoltre, è stata riscontrata la presenza di portali lignei agli ingressi del manufatto, per evitare il collasso delle murature in corrispondenza di questi ultimi (fig. 186).

Nella *Rocca di Vignola* i presidi antisismici sono stati messi in opera esclusivamente in corrispondenza delle parti sommitali dei *torrioni* lesionati (ovvero quelli ubicati a Sud-Ovest e Nord-Est) e sono formati da puntelli metallici nelle aperture e da cerchiature (trefoli in acciaio), collocate in corrispondenza del punto di stacco dei *beccatelli* e a mezz'altezza dei *merli* (fig. 187).

Le rocche più danneggiate, ovvero il *Castello delle Rocche di Finale Emilia* e la *Rocca di San Felice sul Panaro*, sono ovviamente le fabbriche storiche con la maggior presenza di opere provvisionali rilevate.

Nel primo caso (fig. 188) sono stati messi in opera paraspigoli e puntelli lignei, accompagnati da cerchiature-trefoli metallici, in corrispondenza delle parti sommitali del *rivellino* (fig. 189) e delle merlature dei *torrioni* Sud-Est e Sud-Ovest. In corrispondenza dei *beccatelli* degli ultimi due macro elementi menzionati, sono stati invece messi in opera esclusivamente le cerchiature ed i paraspigoli. Il progredire dei cinematismi di danno interessanti i reperti della *torre* Nord-Ovest (fig. 190) invece è stato parzialmente scongiurato con una copertura in ondulina metallica, sorretta da una struttura anch'essa metallica, la quale si appoggia sulle creste murarie preservatesi.



Figura 186 - Opere provvisionali, *Rocca di Reggiolo*.

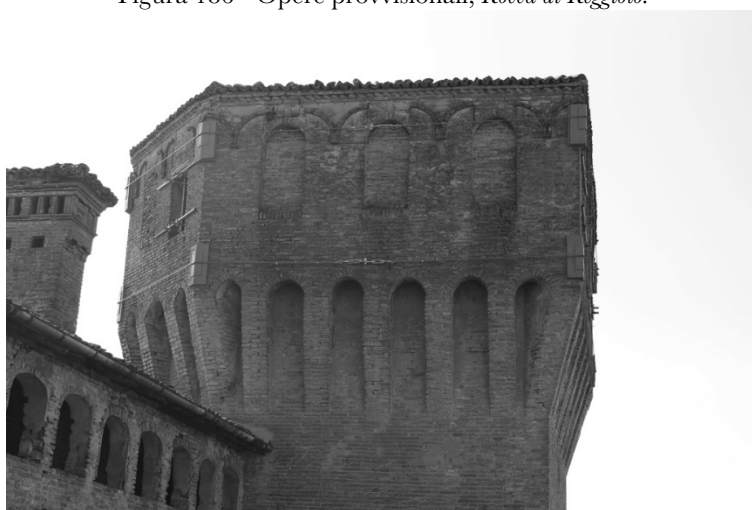


Figura 187 - Opere provvisionali, *Rocca di Vignola*.



Figura 188 - Opere provvisorie, *Castello delle Rocche di Finale Emilia*.



Figura 189 - Opere provvisorie, *Castello delle Rocche di Finale Emilia*.



Figura 190 - Opere provvisorie, *Castello delle Rocche di Finale Emilia*.

Nella *Rocca di San Felice sul Panaro*, l'unico torrione che non ha manifestato crolli, è stato messo in sicurezza attraverso cerchiature-trefoli metallici nelle parti sommitali, ad altezza corrispondente del punto di stacco dei *beccatelli* ed a mezz'altezza dei *merli*, e capochiave, anch'essi metallici, nella parte

media. Le aperture collocate in corrispondenza della parte basamentale, sono state preservate mediante puntelli lignei.

Inoltre nella parte superiore del *torrione*, è stata montata in opera anche una rete parasassi, per evitare la caduta a terra di macerie. Gli altri *torrioni* invece sono stati coperti in sommità mediante teli plastificati e le lesioni manifestatesi nella parte principale, sono state risarcite con malta (fig. 191)¹⁴¹.

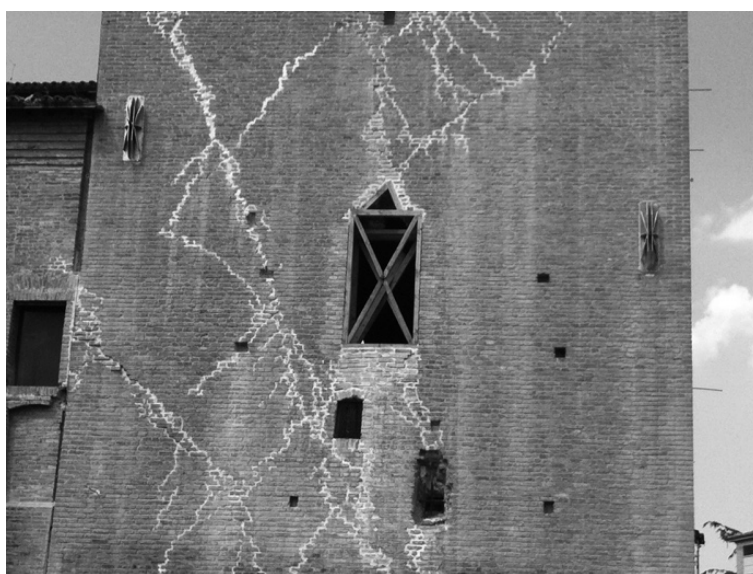


Figura 191 - Opere provvisorie, Rocca di San Felice sul Panaro.

Gli unici esemplari nel quale non è stato possibile rilevare alcuna opera provvisoria, non perché negligenza non messi in sicurezza, ma perché non danneggiati dagli eventi tellurici, sono la *Rocca di Cento* e il *Castello dei Manzoli a Minerbio*.

Invece per gli altri manufatti finora non menzionati, gli apparecchi provvisori non sono stati messi in opera non perché superflui, ma per motivazioni di diverso genere. Queste ultime potrebbero

¹⁴¹ Distinguibile a causa del colore grigiastro, molto differente rispetto il rosso dei laterizi ed il bianco delle malte utilizzate per la messa in opera di questi ultimi.

ad esempio coincidere con la tipologia di proprietà: privata e non pubblica, come nella maggior parte delle altre rocche. Appartiene a questo insieme di strutture fortificate il *Castello di Galeazza a Crevalcore*.

V CAPITOLO

L'INFLUENZA DELLE TECNICHE COSTRUTTIVE SUI MECCANISMI DI DANNO: RIFLESSIONI SULLA VULNERABILITÀ DI CINQUE CASI STUDIO

5.1 Confronto dei casi studiati

Prendendo in esame tutti i cinematismi di danno individuati nei cinque casi di studio, sono state calcolate le percentuali di accadimento per ogni macro-categoria riportata nell'abaco (fig. 192).

I meccanismi di danno rilevati in corrispondenza delle cinque rocche analizzate, appartengono al 60% di tutte le macro-categorie inserite nell'abaco.

Le percentuali calcolate sono le seguenti.

MACRO-CATEGORIA A

RIBALTAMENTO FUORI DAL PIANO APPARATO A SPORGERE: $3/3 = 100\%$

MACRO-CATEGORIA C

RIBALTAMENTO FUORI DAL PIANO PARAMENTI COMPRESI TRA MERLI E BECCATELLI, CON CERNIERA CILINDRICA: $1/1 = 100\%$

MACRO-CATEGORIA D

RIBALTAMENTO COMPOSTO FUORI DAL PIANO CORPO PRINCIPALE: $1/3 = 67\%$

MACRO-CATEGORIA E

FLESSIONE ORIZZONTALE DI PARETE: $1/3 = 33\%$

MACRO-CATEGORIA G

MECCANISMI DA TAGLIO MERLATURE: $2/4 = 50\%$

MACRO-CATEGORIA H

MECCANISMI DA CATTIVO AMMORSAMENTO TORRI-MURA DI CINTA: $2/3 = 67\%$

MACRO-CATEGORIA I

MECCANISMI DA PRESENZA PESANTI CORDOLI O SOLETTE IN C.A. “EFFETTO SEGHETTA”: $2/2 = 100\%$

I cinematismi più diffusi quindi sono, in egual percentuale, il *ribaltamento fuori dal piano dell'apparato a sporgere*, il *ribaltamento fuori dal piano paramenti compresi tra merli e beccatelli, con cerniera cilindrica* e i *meccanismi innescati dalla presenza di pesanti cordoli o solette in c.a., chiamati “effetto seghetta”*. Tutte le macro-categorie sopra elencate hanno interessato esclusivamente i casi di approfondimento. Non sono stati rilevati infatti tali cinematismi in corrispondenza di altre strutture fortificate, parte del campione complessivo.

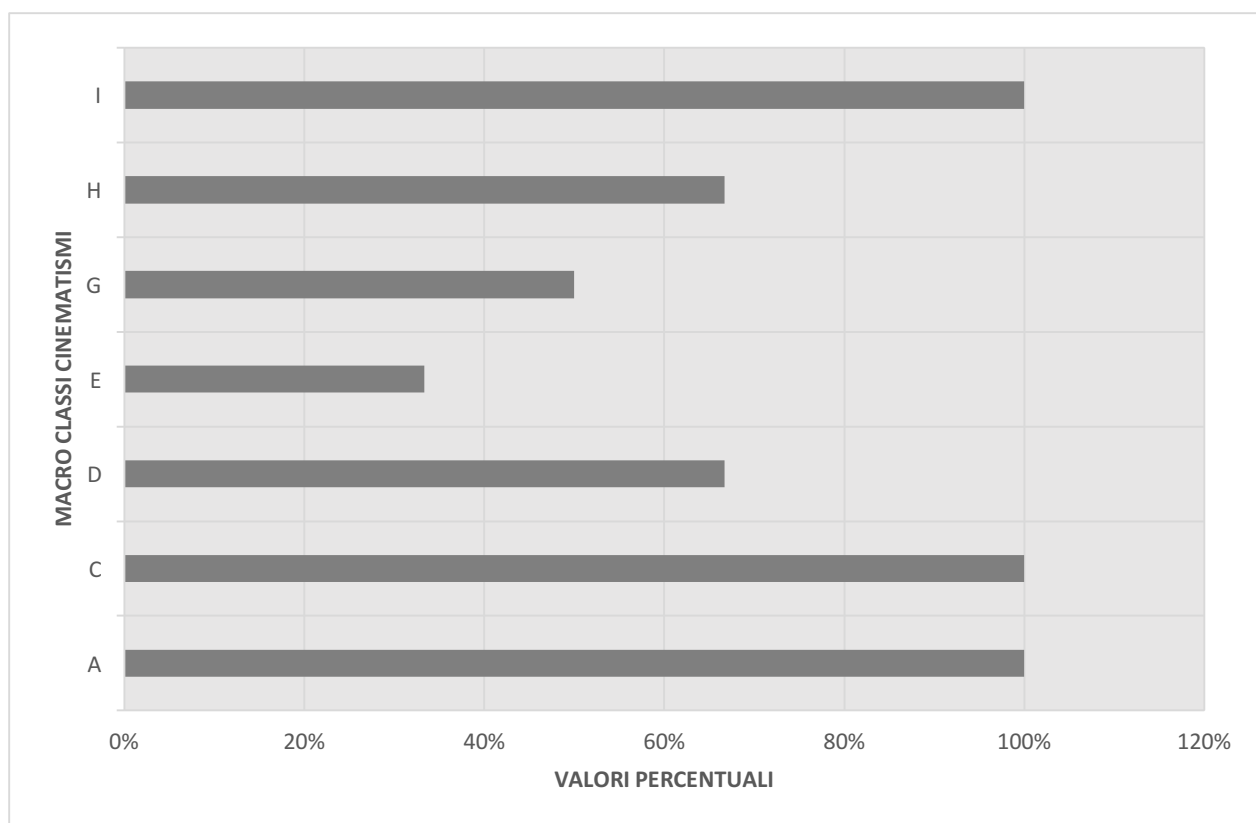


Figura 192 – Istogramma macro-categorie cinematismi di danno rilevate nei cinque casi di studio.

Molto diffusi sono, in egual percentuale, anche il *ribaltamento composto fuori dal piano corpo principale* e i *meccanismi da cattivo ammorsamento torri-mura di cinta*.

I cinematismi di danno rilevati con minor frequenza invece sono i *meccanismi da taglio nelle merlature*, riscontrati in due casi studio e la *flessione orizzontale di parete*, riguardante esclusivamente una rocca.

5.2 L'influenza delle tecniche costruttive nello sviluppo dei cinematismi di danno

5.2.1 *La solidità delle murature nei ribaltamenti*

L'antico concetto della *buona regola dell'arte* risulta in questo contesto molto appropriato, in quanto racchiude in pochissime parole tutti i concetti relativi l'analisi qualitativa delle murature. La buona prassi sottintende, oltre all'utilizzo di materiali costruttivi di alta qualità, anche la loro sapiente messa in opera¹⁴². Infatti l'esperienza dimostra che quando una muratura è stata realizzata a regola d'arte, molto probabilmente è la perdita di equilibrio del sistema a provocarne il collasso, piuttosto che il superamento degli stati tensionali limite. La capacità strutturale di ciascun apparecchio murario, pur avendo origine dalle caratteristiche dei materiali costruttivi, è funzione della disposizione dei singoli laterizi all'interno di esso.

Come evidenziato nel corso della presente ricerca, sia la modalità di messa in opera dei laterizi all'interno di una parete muraria sia la qualità dei materiali utilizzati rivestono grande importanza nella nascita e nello sviluppo dei dissesti.

Si considerino a questo proposito i crolli manifestatisi in corrispondenza del *mastio* del *Castello delle Rocche di Finale Emilia*: le macerie non sono costituite da blocchi di muratura, ma da molti elementi di piccole dimensioni. I detriti caduti a terra sono a grana minuta, questa particolarità indica che le malte utilizzate erano caratterizzate da proprietà meccaniche e coesione molto scarse. Inoltre dall'analisi delle creste murarie preservatesi, è possibile denotare la mancanza totale di laterizi utilizzati come diatoni e l'inesistente adesione tra livelli murari adiacenti, caratteristiche che favoriscono le discontinuità verticali e che consentono comportamenti indipendenti dei vari paramenti. La tendenza dei vari livelli a separarsi agevola l'innescarsi di gravi meccanismi di dissesto, che possono portare al crollo di parti importanti.

L'osservazione del comportamento di porzioni di muratura sotto sisma, ha confermato l'inapplicabilità delle tre fondamentali ipotesi utilizzate dalla scienza delle costruzioni (materiale omogeneo, elastico ed isotropo), a favore dell'ipotesi di corpo rigido. Anche se quest'ultimo assunto non risulta realistico, è comunque compatibile con il comportamento evidenziato nei *ribaltamenti fuori dal piano* rilevati nei casi analizzati; sia negli esempi in cui tali meccanismi di danno riguardano esclusivamente gli apparati a sporgere, sia nei casi in cui ai *ribaltamenti* prendono parte interi elementi architettonici.

¹⁴² A. Giuffré, *La meccanica nell'Architettura*, Carocci editore, Roma 1986, p. 191.

I parametri da valutare per una corretta analisi della muratura storica, oltre al *peso specifico*, alle *caratteristiche meccaniche* dei blocchi e alla *tipologia di malta* messa in opera, che permettono di stimare la resistenza a taglio e a compressione, sono la *coesione*, l'*attrito* che si manifesta lungo la superficie di distacco e l'*effetto catena*, che riguarda l'ingranamento dei laterizi nel piano cui appartiene la parete stessa, i quali oltre a caratterizzare una muratura in maniera univoca, ne contrastano l'effetto delle forze sismiche e sono indice di conservazione dell'aspetto monolitico.

La coesione scompare prima dell'attrito, infatti essa viene a mancare non appena si manifesta una fessura. L'attrito invece scompare gradualmente, fino a quando si verifica il distacco completo tra due blocchi contigui di muratura¹⁴³. Ad esempio fra i cinematismi di danno individuati nelle cinque rocche, è possibile constatare la perdita di *coesione* tra laterizi vicini nelle fessure causate da dissesti di *ribaltamenti fuori dal piano*. La perdita di *attrito* completa invece è riscontrabile solo in tutti i *crolli* manifestatisi a causa di dissesti di varia natura.

Risultati sperimentali¹⁴⁴ hanno dimostrato che prendendo in considerazione una parete in muratura, priva di vincoli, costituita soltanto da laterizi messi in opera senza l'utilizzo di malta, qualora sottoposta ad azioni sismiche perpendicolari al piano, la risposta varia esclusivamente in funzione al tipo di tessitura e al livello di ingranamento.

Le murature sismicamente meno vulnerabili sono quelle con *tessitura alla gotica*, tuttavia la maggior parte dei paramenti presi in considerazione nel presente approfondimento, è formata da muri molto spessi, nei quali non è possibile rilevare una tessitura regolare ed omogenea.

I paramenti costituiti esclusivamente da *diatoni*, se sottoposti a forze sismiche complanari, si comportano in maniera molto simile a pareti monolitiche. Tuttavia se il numero di *diatoni* risulta troppo elevato rispetto quello degli *ortostati*, il miglioramento della risposta sismica rispetto alle azioni ortogonali al piano della parete non cresce in maniera proporzionale al numero di *diatoni*, ma ne risulta influenzato negativamente¹⁴⁵.

Viceversa quando un paramento murario è costituito da un numero troppo elevato di *ortostati*.

¹⁴³ L'efficacia degli interventi di scuci-cuci nella muratura, nasce proprio dall'importanza dei due parametri appena descritti, in quanto l'obiettivo principale di questa tecnica di consolidamento è proprio il ripristino della coesione e dell'attrito, come nella situazione precedente ai dissesti.

¹⁴⁴ Nella molteplicità di prove sperimentali realizzate in materia, vanno ricordate quelle messe a punto su modelli in scala di muratura laterizia, realizzati presso il Laboratorio di Costruzioni dell'Istituto Tecnico per Geometri "I. Saviani" di Città di Castello (PG), (cfr. G. Cangi, *Manuale del recupero* ..., p. 60) e quelle descritte in V. Ceradini, *Indagini sperimentali su modelli di opera muraria*, in A. Giuffrè (a cura di), *Sicurezza e conservazione dei centri storici. Il caso Ortigia*, Laterza, Bari 1993, p. 241-247.

¹⁴⁵ G. Cangi, *Manuale del recupero* ..., p. 71-73.

Affinché una parete in laterizio risponda in maniera ottimale alle azioni sismiche cui viene sottoposta, è necessario avere una giusta proporzione tra *diatoni* e *ortostati* messi in opera, in quanto una muratura costituita da soli *diatoni* o da soli *ortostati* non riesce a garantire un comportamento monolitico¹⁴⁶.

Una peculiarità propria delle costruzioni in muratura risiede nel carattere locale della maggior parte dei dissesti, cioè un meccanismo di rottura può interessare solo alcuni elementi del manufatto, e gli altri elementi possono risultarne influenzati o meno. Anche per questo motivo si è scelto di suddividere i casi di studio in elementi architettonici, ai fini della presente ricerca.

Per le singole porzioni è abbastanza semplice individuarne i cinematismi di danno elementari (fig. 193), i quali sommandosi tra loro possono originare configurazioni più complicate. Questi ultimi sono utili per interpretare quadri fessurativi molto complessi, attraverso valutazioni a ritroso infatti danno la possibilità di individuare i cinematismi elementari che hanno portato allo stato di danno attuale.

Si rammenta a tal proposito il cinematismo di danno composto di *ribaltamento fuori dal piano* del *corpo principale nel mastio* della *Rocca di San Felice sul Panaro*, la cui parte basamentale ha dissipato energia durante i fenomeni sismici, simulando un oscillatore sismico nei confronti della porzione sovrastante.

Il *primo meccanismo di danno elementare* delle murature prende in esame due pareti perpendicolari, prive di qualsiasi ammorsamento fra loro. Ciascuna di esse si comporta come se fosse un elemento isolato. Nel caso in cui l'azione sismica si manifesti nella stessa direzione di una delle due e perpendicolarmente all'altra, si innesca un cinematismo di danno caratterizzato dalla formazione di una cerniera cilindrica alla base della parete disposta in senso ortogonale, la quale ne provoca il ribaltamento. Il dissesto per *cattivo ammorsamento torri-mura di cinta*, manifestatosi nella *Rocca di Reggiolo*, è assimilabile al primo meccanismo elementare. In questo caso la cerniera alla base della *torre*, si è formata a causa di azioni sismiche perpendicolari alle facciate dei torrioni e complanari alla *cinta muraria*¹⁴⁷.

Il *secondo meccanismo elementare* si presenta con minor probabilità rispetto al primo, in quanto affinché si attivi è necessaria una forza sismica maggiore. In questo caso le due pareti ortogonali sono costituite da muratura di buona qualità e saldamente connesse tra loro. La cerniera cilindrica che si forma segue lo stesso andamento della diagonale relativa alla parete ortogonale. Il ribaltamento non interessa il cantonale. Nel presente studio non sono stati rilevati cinematismi riconducibili alla tipologia elementare sopra descritta.

¹⁴⁶ “[...] L’efficacia dei diatoni in un muro [...] risulta evidente se si mette a confronto il muro che correttamente li contiene con quello costituito da soli ortostati. [...] La presenza dei diatoni impedisce lo scorrimento tra le superfici interne che si verifica in mancanza di essi [...]. Ne segue che il muro con diatoni porta una spinta doppia rispetto a quello che ne è privo [...]”. (Cfr. A. Giuffrè, *Lettura sulla meccanica...*, p. 18).

¹⁴⁷ Le torri e la cinta muraria sono corpi sincronici, tuttavia dalle osservazioni effettuate, non sembrano essere opportunamente collegati.

Il *terzo meccanismo di danno elementare* rappresenta un caso intermedio fra i primi due: la cerniera occupa una posizione compresa tra la base e la diagonale della parete disposta in senso ortogonale. Affinché si manifesti questo cinematismo, le pareti devono essere ben ammorsate tra loro. La differenza rispetto i primi due casi è costituita dalla possibilità di strappo e trascinamento della parete perpendicolare alla forza sismica più un cuneo ad essa contiguo. I cinematismi indagati tramite l'abaco realizzato nella presente ricerca, non sembrano pertinenti con la terza forma di meccanismi elementari.

Il *quarto meccanismo elementare* comporta la formazione della stessa cerniera di base vista nel primo meccanismo, ma questa volta, essendo i muri perfettamente collegati, lo strappo si manifesta a monte del cantonale. Entra in gioco un cuneo in muratura molto grande, il quale tende a contrastare il ribaltamento a causa della propria forma e del proprio peso. Questo meccanismo si manifesta molto più raramente rispetto alla prima tipologia.

L'analisi del quadro fessurativo che ha interessato la *torre Nord – Est della Rocca di San Felice sul Panaro*, mette in evidenza un cuneo murario soggetto a ribaltamento fuori dal piano, concernente il quarto meccanismo elementare, tuttavia dal quadro di danno rilevato, non è possibile riscontrare un buon ammorsamento tra *cinta muraria e torrione*.

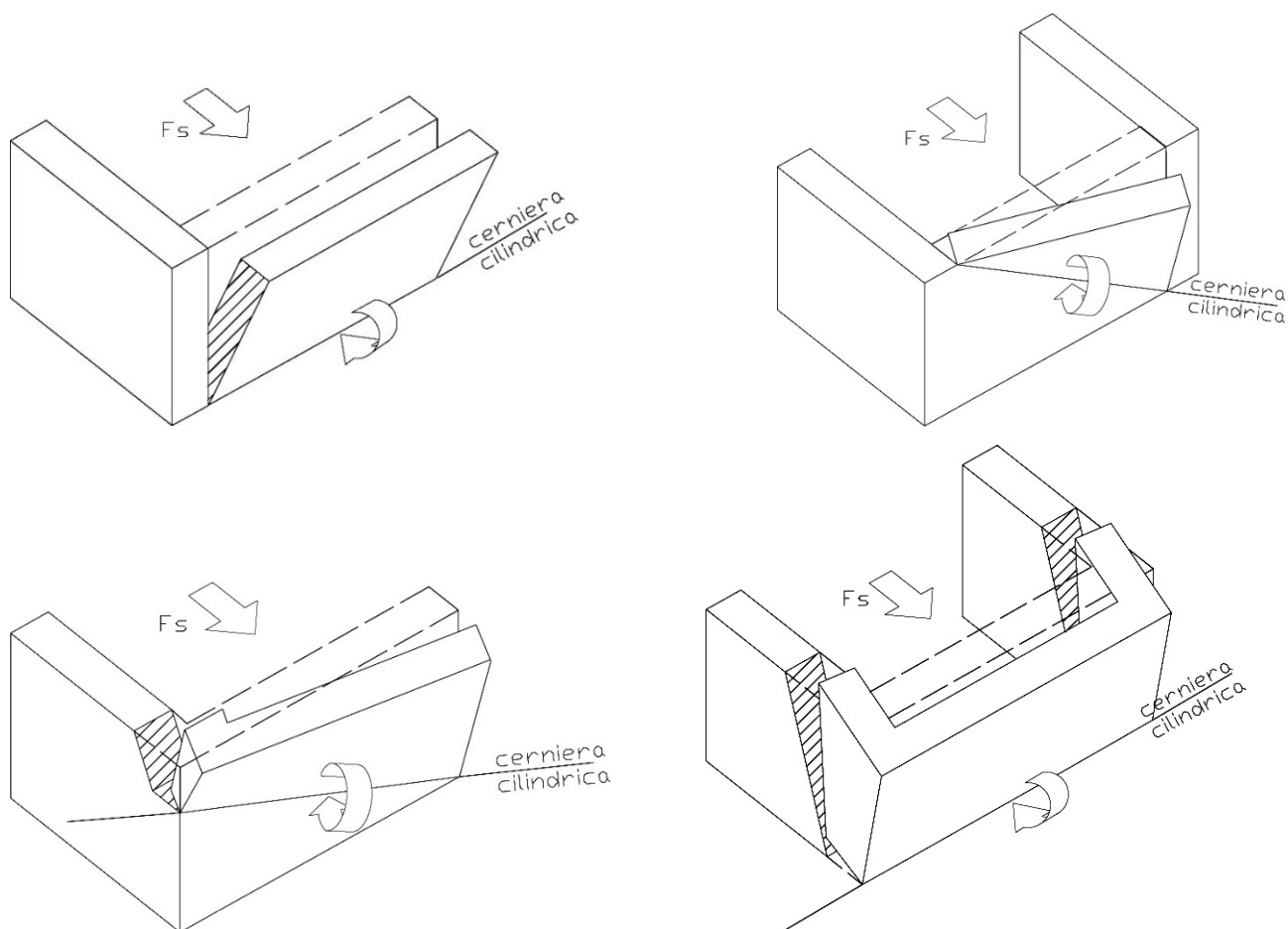


Figura 193 – Meccanismi di danno elementari di pareti in muratura. In senso orario: primo, secondo, terzo e quarto meccanismo di collasso.

Il cinematismo di danno atteso è funzione sia della geometria degli elementi architettonici, sia della qualità della muratura e quindi del tipo di connessioni presenti, della posa in opera e dei materiali utilizzati.

Rapportare i quattro cinematismi di danno descritti ai casi reali risulta molto complesso in quanto occorre tenere in considerazione le caratteristiche fisico-meccaniche principali dei paramenti murari. Infatti il profilo di strappo, nel caso in cui si verificano dei ribaltamenti, non varia in funzione dell'intensità del sisma, ma secondo le caratteristiche della muratura. L'intensità del sisma incide sulle probabilità di attivazione del meccanismo, mentre i caratteri costruttivi dei paramenti murari, come ad esempio l'allineamento dei giunti e l'assenza di ingranamento, determinano le linee preferenziali lungo le quali potrebbe manifestarsi il distacco.

Gli elementi in muratura resistono molto bene alle azioni statiche verticali, mentre non sono adatti a sopportare le azioni dinamiche orizzontali, in quanto queste ultime possono provocare degli stati tensionali anomali rispetto quelli ordinari.

Nel caso in cui un muro sia interessato da un carico verticale, va evidenziato che se il nucleo interno non è efficacemente ammortato ai paramenti esterni, il baricentro spesso non coincide con il centro delle rigidezze, quindi anche sforzi perfettamente centrati possono provocare sollecitazioni di pressoflessione a causa della differente distribuzione dei carichi sui vari livelli. Tale comportamento statico può essere aggravato nel caso in cui la qualità dei materiali che costituiscono il nucleo interno è molto più scadente rispetto quella dei paramenti esterni. La modalità di distacco dei paramenti è influenzata dalla forma degli elementi e dalla modalità di posa in opera. Quando i blocchi non sono ingranati efficacemente, nascono delle forze interne, che portano ad un comportamento della muratura molto diverso da quello monolitico, come si è verificato ad esempio nello scorrimento reciproco dei vari livelli di muratura del *mastio del Castello delle Rocche di Finale Emilia*.

Quando invece la muratura è investita da azioni sismiche orizzontali, la risposta che essa fornisce è funzione della capacità che il muro ha a mantenere la propria configurazione geometrica durante i cinematismi di danno. Per evitare il rapido collasso, risulta fondamentale la presenza di *diatoni*. Quindi le murature adatte ad assorbire le azioni perpendicolari al loro piano sono quelle che a parità di spessore garantiscono il migliore ingranamento fra i paramenti. I muri ad elevato spessore frequentemente sono caratterizzati da un minor numero di connessioni trasversali, mentre quelli più sottili, presentando più *diatoni*, durante i cinematismi di collasso, tendono a mantenere più a lungo un comportamento monolitico.

Anche per il ragionamento appena esposto, risulta esemplare il caso del *mastio del Castello delle Rocche di Finale Emilia*, in quanto dallo studio delle macerie, è emersa la totale mancanza di *diatoni*.

Grande rilievo nell'influenza che le murature assumono nei cinematismi a *taglio* e in quelli di *ribaltamento*, ha la qualità dei *cantonali*. Infatti qualora quest'ultima sia buona, favorisce la formazione

di un corpo monolitico costituito da due pareti disposte ortogonalmente. Viceversa permette di arrivare facilmente alla *rottura per flessione*, con il distacco di una porzione parabolica di parete. I cinematismi di danno innescatisi per flessione infatti producono l'espulsione della parete in muratura in corrispondenza della parte più distante dai vincoli e una fessura verticale coincidente con l'asse di simmetria della parabola. Il meccanismo si sviluppa grazie alla formazione di archi orizzontali nello spessore murario. Lo sviluppo del meccanismo dipende dalle qualità meccaniche delle murature in quanto i muri laterali devono essere in grado di contrastare le spinte provenienti dagli archi. La condizione limite viene raggiunta quando si formano delle cerniere plastiche in corrispondenza dei medesimi archi, percepibili con lesioni oblique che nascono in corrispondenza degli archi e si sviluppano in direzione obliqua verso l'attacco a terra dei cantonali.

Il *ribaltamento fuori dal piano dell'apparato a sporgere* rilevato in corrispondenza della *torre* Sud - Ovest della *Rocca di Vignola*, presenta tutte le caratteristiche tipiche della *rottura per flessione* di cui sopra. Si può dedurre quindi che i *cantonali* di questa *torre* non possiedano un buon grado di ammorsamento e pertanto non siano stati realizzati a *regola d'arte*. Lo stato di avanzamento poco sviluppato del cinematismo di danno in oggetto permette d'altra parte di ipotizzare che le qualità meccaniche dei singoli paramenti murari non siano particolarmente scadenti, in quanto sono state in grado di scongiurare la condizione limite del meccanismo in rassegna.

Effetti simili possono essere tuttavia prodotti anche da cause molto diverse, in particolare da azioni sismiche appartenenti al medesimo piano della parete considerata, le quali provocano gravi fenomeni di *instabilizzazione*. Questo caso si manifesta soprattutto quando la parete incontra vincoli molto rigidi o un muro che oscilla in controfase.

Dalle osservazioni condotte per i casi di studio analizzati, non sono stati riscontrati fenomeni di *instabilizzazione*, nonostante la presenza di vincoli molto rigidi, rappresentati ad esempio dagli edifici adiacenti i *torrioni*.

La situazione più pericolosa e più complessa da analizzare è quella prodotta da forze sismiche con direzione diagonale in quanto si sviluppano sia gli effetti dovuti alle forze sismiche complanari che a quelle ortogonali.

5.2.2 *Le coperture rigide: crolli e dissesti delle parti sommitali*

Le analisi prodotte sui cinematismi di danno rilevati in corrispondenza delle merlature, hanno permesso di constatare che le lesioni a taglio si sono manifestate esclusivamente negli apparati merlati cui sono state apportate pesanti modifiche strutturali nel tempo, si vedano ad esempio il *mastio* della *Rocca di San Felice sul Panaro* e i *torrioni* del *Castello delle Rocche di Finale Emilia*. In entrambi i casi infatti, successivamente alla costruzione delle *torri*, gli spazi *intermerli* sono stati murati mediante paramenti in laterizio e durante recenti interventi di consolidamento strutturale, le *coperture* sono state irrigidite ed appesantite con elementi in C.A.¹⁴⁸. Non sono state invece registrate lesioni alle *merlature* nei casi in cui le recenti campagne di restauro strutturale hanno comportato il consolidamento delle strutture di copertura mediante tecniche e materiali simili a quelli utilizzati originariamente. Si veda ad esempio la *torre Nonantolana* della *Rocca di Vignola*. In quest'ultimo elemento architettonico è stato rilevato un cinematismo di flessione orizzontale di parete dovuto alla spinta del tetto non ben contrastata, tuttavia la *copertura* lignea leggera messa in opera, seppur sollecitata da azioni sismiche, non ha provocato alcun tipo di *crollo*. Situazione opposta è stata invece riscontrata nei gravi *crolli* verificatisi in corrispondenza di molte *torri*, nelle quali sono stati recentemente messi in opera *solai* interpiano e di *copertura* in cemento armato. I crolli hanno interessato vaste porzioni dei manufatti fortificati, in quanto gli interventi di restauro hanno aumentato notevolmente la vulnerabilità sismica delle porzioni storiche delle antiche fabbriche. Esemplificativi i casi di *San Felice sul Panaro* e di *Finale Emilia*.

Esistono anche altre motivazioni di indebolimento delle strutture, le quali seppur in maniera meno pericolosa rispetto quanto esposto poco sopra, rappresentano comunque potenziali cause di vulnerabilità sismica. Si faccia ad esempio riferimento all'inserimento, molto utilizzato in passato, di *canne fumarie* all'interno dello spessore murario oppure, alla predisposizione di canalizzazioni per il passaggio di componenti impiantistiche all'interno dello spessore dei paramenti. Questi tagli murari, anche se successivamente richiusi, continuano a costituire motivo di debolezza: realizzati per motivi legati esclusivamente all'immagine, in particolare per occultare gli impianti, influenzano negativamente la statica del manufatto.

¹⁴⁸ Gli interventi di consolidamento strutturale mediante l'utilizzo di C.A., sono stati in passato molto utilizzati, a causa delle buone caratteristiche che gli venivano attribuite. Per questo motivo sono stati approvati anche dagli enti preposti, tuttavia le recenti acquisizioni hanno dimostrato che in molte situazioni reali, non hanno corrisposto alle aspettative ideali previste. A questo proposito, per quanto riguarda le tecniche di intervento sui beni architettonici monumentali, all'art. 3 della "*Carta della prevenzione sismica dei beni architettonici*", viene riportato che "[...] oggi si avverte l'imbarazzo di tecnici che non conoscevano se non le strutture in cemento armato. Le proposte denunciano l'intento inconsapevole di trasformare l'edificio murario in una gabbia di cemento armato [...], di qui il consiglio di inserire in breccia cordoli orizzontali e pilastrature verticali e di rifare in cemento armato tutti i solai. In altri casi il modello strutturale era l'edificio a pannelli portanti, ed ecco il consiglio di racchiudere le pareti di muratura entro due lastre di cemento armato. Poter trasformare in un materiale continuo ed omogeneo quelle pietre messe insieme con scarsa calcina sembrava l'unico modo per garantire la sicurezza [...]" (cfr. A. Giuffrè, *Monumenti e terremoti...*, pp. 31-32).

Tra le fortezze analizzate, solo in corrispondenza della parete ovest del *mastio* della *Rocca di San Felice sul Panaro*, è stata rilevata la presenza di una *canna fumaria*, con lunghezza pari a quattro piani. Tuttavia lo studio del quadro fessurativo del *mastio* sanfeliciano non ha permesso di rilevare alcun legame tra i meccanismi di danno in esso innescatisi e la presenza del condotto tecnico.

Anche la realizzazione di nuove aperture comporta un importante indebolimento strutturale, perfino se numericamente vengono ripristinati i medesimi livelli di sicurezza esistenti prima delle modifiche strutturali, ad esempio mediante la messa in opera di cerchiature metalliche o in C.A., in realtà risulta impossibile tornare all'originario stato tensionale della muratura. L'alterazione dei flussi che ne deriva, si riflette molto negativamente in condizioni dinamiche.

5.2.3 *Le volte e le deformazioni angolari delle facciate*

Tutte le strutture spingenti hanno un ruolo fondamentale nella stabilità complessiva della struttura.

La natura spingente di questi elementi architettonici favorisce la probabilità di innesco di cinematismi di danno sotto sisma. I meccanismi di danno infatti sono influenzati sia dalla geometria degli elementi voltati che dalla direzione con cui le forze sismiche li colpiscono: in genere le volte cambiano la propria configurazione spaziale secondo le sollecitazioni cui sono sottoposte.

In tutti i casi di studio presi in esame le volte sono laterizie. Questa tipologia, essendo a parità di luce da coprire, molto più leggera di quella in pietra, comporta spinte sui muri di imposta inferiori.

Nel caso di *volte a botte*, tipologia rilevata con maggior frequenza nelle rocche studiate, secondo le regole costruttive, i muri di testata non vengono caricati, infatti risultano ammorsate esclusivamente ai muri di imposta. Quindi le *volte a botte* funzionano come vincoli monolateri: sono efficaci nei confronti delle forze dirette verso l'interno e del tutto inutili per le forze dirette verso l'esterno.

Le *volte a crociera*, incontrate solo sporadicamente nei cinque casi di studio, scaricano completamente le forze in corrispondenza dei peducci d'angolo, agevolando il distacco dei cantonali. Come conseguenza più estrema possono portare al ribaltamento della facciata.

Nelle rocche selezionate i sistemi spingenti non hanno generato danni. Infatti, ad esempio, i ribaltamenti fuori dal piano rilevati sono stati innescati molto probabilmente da peculiarità costruttive dell'apparato a sporgere o dalla posizione reciproca che gli elementi architettonici occupano all'interno di ciascun complesso fortificato.

Nei casi di studio indagati, le *volte a crociera* sono state utilizzate esclusivamente nei piani inferiori. Nella *Rocca di Cento* sono state messe in opera solo in corrispondenza del piano terra della *torre* adiacente la *torre portaia* nord. Nel *Castello delle Rocche di Finale Emilia* questa tipologia è stata riscontrata esclusivamente al piano terra, in corrispondenza del *porticato* interno. Nella *Rocca di San Felice sul Panaro* sono state riscontrate volte a crociera nella *torre* Sud – Est, sia al piano terra sia ai piani secondo e sesto.

Contrariamente a quanto si possa immaginare, le volte assumono un ruolo positivo fondamentale a fini antisismici: le strutture spingenti realizzate in continuità l'una all'altra garantiscono mutuo contrasto, a vantaggio della stabilità globale del manufatto¹⁴⁹.

Nella maggior parte dei casi di studio presi in esame è stato possibile rilevare la presenza di sistemi costituiti da un insieme di volte. Non esiste alcuna regolarità tra i sistemi individuati nelle varie

¹⁴⁹ G. Cangi, *Manuale del recupero ...*, p. 102-103.

rocche analizzate, ma all'interno di una medesima fortificazione è frequente rilevare che un sistema voltato venga reiterato più volte, in corrispondenza di piani sovrapposti appartenenti al medesimo elemento architettonico.

L'effetto stabilizzante diminuisce andando dai piani bassi verso quelli più elevati, proporzionalmente all'entità delle masse sovrastanti.

Ad esempio l'*edificio* sud del *Castello delle Rocche di Finale Emilia*, è caratterizzato da regolarità dei sistemi voltati: un sistema identico di *volte a botte* affiancate viene sovrapposto da piano a piano in maniera perfetta. Le torri sud-est e sud-ovest del maniero in oggetto, addossate all'edificio sud, sono state danneggiate dagli eventi sismici, mentre l'edificio sud non ha manifestato cinematismi di danno. Al netto delle differenze formali e costruttive rilevabili tra le *torri* e l'*edificio* in esame, i sistemi voltati regolari e ripetitivi di quest'ultimo elemento architettonico hanno rappresentato un punto a favore della minor vulnerabilità sismica.

La rimozione delle strutture voltate quindi può influire negativamente sull'equilibrio di una struttura più complessa¹⁵⁰. Infatti le sollecitazioni che ciascuna struttura spingente trasmette alle murature, variano nel caso in cui la volta è isolata o se fa parte di un sistema più ampio. Si può ipotizzare quindi che si sia preferita la costruzione di moduli voltati affiancati piuttosto che quella di strutture spingenti isolate, in quanto nel primo caso le sollecitazioni venivano equilibrate internamente e la spinta trasmessa ai muri di imposta era inferiore rispetto quella trasmessa da singole volte.

Per studiare i cinematismi di danno relativi alle volte, è fondamentale capire le modalità di tessitura dei laterizi. Nella maggior parte dei casi tuttavia tale tessitura non è facilmente individuabile, in quanto le *volte* risultano celate da affreschi, intonaci e pavimentazioni di pregio. Anche nella maggior parte dei casi di studio analizzati non è stato possibile indagare le modalità di tessitura, non solo perché nascoste alla vista, ma per l'inagibilità post sisma di alcune *rocche* e per i rilievi poco dettagliati.

Nella *Rocca di Vignola* sono presenti *vele* costituite da paramenti in laterizio, con tessitura alla *gotica* ed alternanza regolare tra *diatoni* ed *ortostati*. Le *nervature*, in laterizio, sono invece costituite totalmente da elementi disposti per coltello. Le *vele* e le *costolonature* adiacenti non sono bene ammorsate. L'ammorsamento in corrispondenza delle *costolonature*, sarebbe stato ancora più difficile da realizzare nel caso in cui le volte fossero state costruite da soli mattoni di testa. Le *nervature*, in pietra o in laterizio, non hanno solo valenza decorativa, sottolineando il valore architettonico più profondo degli elementi voltati, ma hanno anche funzione strutturale.

¹⁵⁰ F. Giovanetti (a cura di), *Manuale del recupero di Città di Castello*, Edizioni Dei Tipografia del Genio Civile, Roma 1992, pp. 59-64.

“[...] Si l'on prend la peine d'analyser ces larges voûtes romaines, berceaux, voûtes d'arête, coupôles, on constate que ces surfaces courbes, en apparence uniformes et homogènes, sont formées d'une suite de nerfs et même de cellules de brique dont les intervalles sont remplis par un blocage composé de pierres légères et de mortier. Ainsi, pour fermer une très-grande voûte, suffisait-il de poser un certain nombre de cintres de charpente, relativement restreints et d'une force médiocre, de les réunir par une forme de planches sur lesquelles la voûte était construite, ainsi que nous allons le voir [...]”¹⁵¹.

Esse sono più marcate in corrispondenza delle *imposte* e delle *reni* e tendono a scomparire raggiungendo la *chiave di volta*.

Un elemento strutturale molto importante per la stabilità delle volte è dato dalla presenza delle *lunette*. Infatti esse, se ben ammorsate ai muri di imposta¹⁵², svolgono una funzione simile a quella dei puntoni, in quanto aiutano a ridurre complessivamente il peso e conferiscono maggior stabilità alla struttura, aumentandone l'inerzia mediante variazioni di forma in sezione. Le *lunette* offrono dei vantaggi, a livello statico, ai complessi architettonici, tuttavia nelle rocche indagate non è stata riscontrata la presenza di questi elementi, ad eccezione delle volte dell'edificio ovest della **Rocca di Cento**. Qualora le *lunette* non siano efficacemente ammorsate ai muri di imposta, si ha una grave carenza a livello statico, in quanto le forze taglienti trasmesse nei piani dell'orizzontamento trovano una discontinuità lungo le diagonali e possono portare a fessurazioni celate dalle costolonature¹⁵³.

Negli elementi voltati è possibile individuare i cinematismi di danno elementari che si innescano sotto sisma. Questi ultimi, sommandosi tra loro, possono generare meccanismi più complicati, infatti la maggior parte dei cinematismi rilevabili nelle strutture murarie esistenti comprende meccanismi elementari di tutte le tipologie, con conseguenze imprevedibili.

La prima classe di meccanismi di danno elementari delle volte è provocata dallo spostamento relativo dei muri di imposta. Appartengono a questo gruppo tre tipologie di cinematismi, ciascuna associata ad una componente di spostamento: traslazione parallela, perpendicolare e cedimenti differenziali dei muri di imposta (fig. 194). Il cinematismo più pericoloso è quello causato dall'allontanamento dei

¹⁵¹ Il testo originale dell'opera di E. Viollet Le Duc, *Dictionnaire raisonné de l'architecture française du XI^e au XVI^e siècle*, è consultabile gratuitamente dal sito: http://fr.wikisource.org/wiki/Dictionnaire_raisonn%C3%A9_de_l'architecture_fran%C3%A7aise_du_XIe_a_u_XVIe_si%C3%A8cle_-_Index_alphab%C3%A9tique_-_B, ultima consultazione 16 Marzo 2017. “[...] Se si analizzano le grandi volte romane [...] si può constatare che queste superfici curve, in apparenza uniformi ed omogenee, siano costituite da una serie di nervature e da cellule in mattoni, gli spazi tra un elemento e un altro sono riempiti con malte [...]. Per completare una grande struttura voltata basta utilizzare un certo numero di presidi, relativamente resistenti [...], e riunirli nella stessa forma della volta da costruire [...]”.

¹⁵² Il non efficace ammorsamento tra lunette e muri di imposta rappresenta una grave carenza a livello statico, in quanto le forze taglienti trasmesse nel piano dell'orizzontamento trovano una discontinuità lungo le diagonali e possono portare a fessurazioni celate dalle costolonature.

¹⁵³ G. Cangi, *Manuale del recupero* ..., p. 114.

muri di imposta, provocato dalle oscillazioni asincroniche delle pareti durante gli eventi sismici¹⁵⁴. L'effetto di questo meccanismo spesso è rappresentato dal crollo dei sistemi voltati.

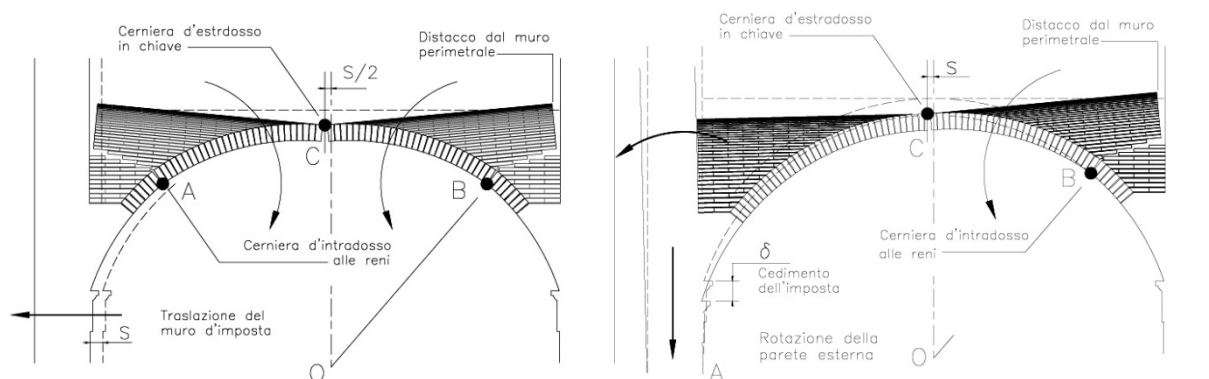


Figura 194 – Meccanismo di rottura delle volte per allontanamento delle imposte (a sinistra) e per cedimento differenziato (a destra).

Nei cinque casi di approfondimento non sono stati rilevati cinematismi di rottura degli elementi voltati di prima classe, ma tra le tredici strutture fortificate censite, il quadro fessurativo relativo la *Rocca di Novellara*, evidenzia un meccanismo di danno provocato dallo spostamento relativo dei muri di imposta. Lo studio dello stato di fatto fa pensare ad un cedimento differenziale: il paramento murario verso l'esterno sembra essere sprofondato rispetto quello ad esso parallelo, appartenente alle mura perimetrali del maniero. Il quadro di danneggiamento appena descritto è stato sicuramente condizionato dalle azioni sismiche del maggio 2012, ma un'oculata analisi dei margini delle lesioni, permette di ipotizzare che con grande probabilità il cinematismo si era innescato precedentemente.

La seconda classe di meccanismi elementari delle volte è correlata a fenomeni di instabilità dell'elemento interessato. Appartengono a questa tipologia la rottura a flessione e a taglio degli archi. La rottura a flessione richiede la formazione di cerniere plastiche in corrispondenza delle *reni*, all'intradosso, e in *chiave*, all'estradosso. La stabilità del sistema, anche se precaria, viene mantenuta finché tali cerniere si trovano a quote diverse. Quando la cerniera in *chiave* si abbassa tanto da raggiungere quelle alle *reni*, avviene il collasso. La rottura a flessione, negli stadi di avanzamento iniziali, non produce conseguenze gravi immediate.

Risulta invece molto più pericoloso il cinematismo di rottura a taglio. Quest'ultimo infatti è irreversibile fin dai primi stadi e si può manifestare con scorrimenti dei *conci* quasi impercettibili, dell'ordine del 5% della *freccia* iniziale. La configurazione ultima è caratterizzata anche in questo caso dalla presenza di cerniere plastiche in *chiave* e alle *reni*. Vista la gravità di questo meccanismo, è auspicabile favorire la rottura per flessione di archi e volte, ma nella gerarchia delle resistenze la rottura a taglio precede quella a flessione.

¹⁵⁴ E. Oddone, *Il terremoto dell'alta Valle del Tevere del 26 Aprile 1917*, in "Bollettino della Società Sismologica Italiana, 1917, n. 1-2, pp. 1-5.

Per quanto appurabile, nei casi di approfondimento, non sono stati rilevati cinematismi di danno delle strutture voltate appartenenti alla seconda classe. Le tecniche utilizzate per costruire i sistemi voltati e gli spessori murari elevati degli elementi di imposta si sono quindi dimostrati adeguati a rispondere in maniera positiva alle sollecitazioni indotte dal sisma. Inoltre la disposizione articolata di grandi volumi architettonici, addossati l'uno all'altro, ha permesso a questi ultimi di funzionare come efficaci sistemi di contenimento per le azioni generate dalle strutture spingenti in essi contenute, a vantaggio della stabilità globale del manufatto.

5.3 I legami tra strutture, sisma e danni subiti: alcune considerazioni relative i cinque casi di approfondimento

Gli effetti del sisma “[...] non sono stati omogenei, ma selettivi e particolarmente virulenti su determinate tipologie di edifici. Subito dopo le scosse del 20 maggio 2012, sorvolando le aree colpite, sembrava ci fosse stato un bombardamento mirato, bombe di precisione che avevano centrato chiese, torri, municipi, ville, il nostro patrimonio culturale [...]”¹⁵⁵.

Sono state colpite le tipologie di edifici più vulnerabili, quelle non pensate per resistere al terremoto: essendosi persa ormai da tempo la memoria del grave sisma nel ferrarese del 1570, le tecniche costruttive utilizzate non si sono dimostrate consone a soluzioni sismo resistenti.

Il moto sismico è stato caratterizzato in superficie da basse frequenze e per questo motivo ha danneggiato in maniera preponderante tutti gli elementi architettonici snelli, come ad esempio torri ed apparati a sporgere, contraddistinti da basse frequenze proprie.

Si è dimostrato di fondamentale importanza lo studio della direzione dello sciame sismico, in quanto costituisce una delle principali cause della modalità di oscillazione dei vari elementi architettonici.

I due *mainshock* sono stati caratterizzati da una direzione principale allungata in senso WNW-ESE¹⁵⁶. Soprattutto per quanto riguarda le parti sommitali, è possibile evidenziare un forte legame tra le modalità di oscillazione e le caratteristiche dei cinematismi di danno.

MECCANISMI DA TAGLIO MERLATURE: nella *Rocca di San Felice sul Panaro*, tutti gli apparati merlati dei *torrioni* hanno riportato fessurazioni a 45°, come conseguenza degli eventi sismici. Tuttavia, esclusivamente in corrispondenza del *mastio* (*torre* Sud - Est), facciata Sud, è stata riscontrata anche l'espulsione di materiale (G1). Quest'ultimo fenomeno va messo in relazione con le rotazioni subite dalle murature, nella medesima direzione delle oscillazioni.

RIBALTAMENTI FUORI DAL PIANO APPARATO A SPORGERE: il cinematismo di danno composto, rilevato nella *torre* Sud – Ovest della *Rocca di Vignola*, è dovuto alla direzione del sisma nei confronti dell'elemento architettonico considerato. Scomponendo l'accelerazione sismica in vettori cartesiani, si trova infatti che questi ultimi risultano approssimativamente paralleli e perpendicolari alla facciata danneggiata (A1). Analogo ragionamento può essere ripetuto anche per quanto riguarda l'apparato a sporgere delle *torri* Sud – Est e Sud – Ovest del *Castello delle Rocche di Finale Emilia* (A2).

FLESSIONE ORIZZONTALE DI PARETE: il puntone *ligneo* della *torre* Nonantolana della *Rocca di Vignola*, probabilmente ha innescato il quadro fessurativo rilevato (E1) sia a causa delle tecniche

¹⁵⁵ Ranaldi A., *I danni del sisma nel ferrarese. Memorie 2012 e 1570*, in “Castellum”, 2014, n. 55, pp. 53.

¹⁵⁶ <http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/TerremotoEmiliaMCS.pdf>, ultima consultazione 22 Agosto 2016.

costruttive poco consone utilizzate per realizzare l'appoggio, sia perché ha la medesima direzione della risultante delle forze sismiche.

Tra i danni rilevati in fase di sopralluogo, ovvero fra gli effetti prodotti sui casi di studio dai dissesti innescatisi, particolare attenzione va riservata ai numerosi e importanti crolli che hanno interessato imponenti elementi architettonici. Ad esempio, nel *Castello delle Rocche di Finale Emilia*, ad eccezione del *mastio*, l'unico elemento interessato da crolli è la *torre* Nord-Ovest. Si sono polverizzate esclusivamente le parti sommitali, maggiormente vulnerabili rispetto l'impianto di base, partendo dalla linea di stacco dei beccatelli in su. La direzione principale dei *mainshock* coincide all'incirca con una delle diagonali del torrione in oggetto.

Nella *Rocca di San Felice sul Panaro* invece l'unica *torre* non interessata da crolli è il *mastio* (collocato a *Sud-Est*), nonostante una diagonale coincida con la direzione dei *mainshock*, per motivazioni legate ai vincoli costituiti dai macro-elementi strutturali ad esso adiacenti, dall'analisi degli effetti rilevati, è stato possibile individuare un meccanismo di ribaltamento fuori dal piano composto, del corpo principale (D1).

A valle delle considerazioni esposte, è stato possibile capire che la vulnerabilità sismica delle strutture, è attribuibile a varie combinazioni tra le modalità costruttive e le caratteristiche dello sciame sismico.

Lo studio condotto, oltre ad aver permesso di interpretare i rapporti intercorrenti tra le tecniche costruttive ed i cinematismi di danno rilevati, ha rappresentato anche l'occasione per riflettere su una tematica inizialmente non individuata: l'esistenza e la determinazione di varie tipologie di vulnerabilità.

Ne sono stati identificati due tipi: la *vulnerabilità classica*, cioè quella già riscontrata in edifici in muratura sotto sisma, tipologicamente diversi dalle fabbriche difensive analizzate, e la *vulnerabilità specifica*, ovvero quella rilevata esclusivamente nelle *rocche*.

È stato quindi possibile suddividere tutte le situazioni analizzate nelle due categorie sopra descritte.

La *vulnerabilità classica* è stata individuata nelle varie tipologie di **ribaltamenti fuori dal piano** (A1-A2-A3-C1-D1), di **flessione orizzontale di parete** (E1) e di **meccanismi a taglio delle merlature** (G1 – G2).

La *vulnerabilità specifica* è stata riscontrata nei cinematismi legati al **cattivo ammorsamento torrimura di cinta** (H1-H3) e alla **presenza di pesanti cordoli o solette in C.A.** (I1-I2). Quest'ultima tipologia è strettamente correlata con tecniche costruttive rivelatesi poco sismo resistenti, tipiche delle *rocche* analizzate, e con interventi di restauro dimostratisi incompatibili in condizioni dinamiche delle strutture.

Dall'analisi della vulnerabilità sismica, è emerso che ciascun cinematismo di danno non è stato

innescato da una sola causa, ma da un insieme di motivi, variabili sia per tipologia che per modalità di combinazione.

Uno dei fattori da prendere in considerazione nello studio della vulnerabilità sismica dei casi di approfondimento, consiste nella geometria dei complessi fortificati, ovvero nella posizione reciproca occupata dagli elementi architettonici principali. Si faccia riferimento ad esempio alla *Rocca di Reggiolo*: i cinematismi di ribaltamento fuori dal piano, rilevati in corrispondenza delle parti sommitali dei *torrioni*, permettono di dedurre che i macro-elementi architettonici maggiormente vulnerabili siano le *torri* addossate ai corpi di fabbrica meno rigidi, cioè alle *cinte murarie* e non agli edifici.

Un'altra variabile va ricercata nella cronologia costruttiva, cioè nell'evoluzione storica delle fabbriche, intesa come sequenza delle fasi di trasformazione edilizia, dall'ipotetica configurazione originaria a quella giunta all'alba degli eventi sismici. La successione realizzativa delle diverse porzioni (corpi aggiunti, sopraelevazioni, ampliamenti e anche cambiamenti di destinazione d'uso) ha permesso di individuare zone di possibile discontinuità e disomogeneità materiale¹⁵⁷, le quali coincidono in molti casi ad aree interessate da lesioni e deformazioni.

La presente ricerca inoltre ha permesso di individuare fra le cause dell'elevata vulnerabilità sismica, dimostrata dai danneggiamenti rilevati nelle possenti rocche indagate, anche vizi costruttivi intrinseci, vale a dire l'utilizzo di materiali di basso profilo qualitativo e la messa in opera di questi ultimi mediante tecniche costruttive che si sono rilevate sensibili verso il rischio del collasso sismico¹⁵⁸. Un punto di debolezza intrinseco ai casi di studio analizzati va ricercato negli apparati murari pieni, costituiti da più paramenti addossati, ma non ingranati tra loro (fig. 195), ovvero nelle

*“[...] murature dal comportamento non monolitico [...]. Il recente terremoto dell'Emilia ha [...] evidenziato come anche le murature a più teste in mattoni siano state in molti casi realizzate come più murature ad una testa tra loro sostanzialmente scollegate, determinando così crolli spesso inattesi [...]”*¹⁵⁹.

Questa tipologia di muratura, nonostante gli elevati spessori riscontrati, è caratterizzata da alta vulnerabilità sismica, in quanto la mancanza di connessioni tra i vari livelli permette il solo lavoro per attrito fra questi ultimi e ne facilita lo scorrimento reciproco. Gli spostamenti, se innescati dall'accelerazione sismica, generano cinematismi di ribaltamento fuori dal piano, che nei casi più gravi provocano crolli. Quanto appena descritto è particolarmente evidente nei paramenti murari afferenti le macerie del *mastio del Castello delle Rocche di Finale Emilia*, dove i vari livelli murari risultano

¹⁵⁷ Ministero per i beni e le attività culturali, CIRCOLARE n. 26 del 2 Dicembre 2010, *op. cit.*, pp. 42-44.

¹⁵⁸ E. CoIsson, *Vulnerabilità non quantificabili*, in C. Blasi, *op. cit.*, p. 90-91.

¹⁵⁹ *Ibid.*



Figura 195 – *Rocca di San Felice sul Panaro*, paramento murario costituito da livelli affiancati, ma non connessi. L'evidente spanciamento del muro, oltre alla tecnica costruttiva descritta, va correlato anche con l'interazione *mastio-torre portaia*.

semplicemente appoggiati ed è palese la mancanza di qualsiasi laterizio utilizzato con funzione di *diatono*. La scarsa qualità dei materiali utilizzati, vale a dire malte povere di calce¹⁶⁰, le tessiture non realizzate a regola d'arte, senza adeguate connessioni trasversali, rappresentano tutti fattori che contribuiscono ad aumentare la vulnerabilità sismica dei paramenti analizzati. Ad esempio, nonostante l'impossibilità di realizzare prove di laboratorio sui materiali utilizzati, l'analisi visiva e tattile di alcune modeste quantità di calce recuperabili dalle macerie del *mastio* del *Castello delle Rocche di Finale Emilia*, ha permesso di valutarne, da un punto di vista qualitativo, le scarse proprietà meccaniche: i frammenti prelevati non erano in grado di resistere a minime pressioni esercitate senza l'ausilio di apposita strumentazione, in quanto si polverizzavano al semplice contatto¹⁶¹.

Un'altra causa che ha favorito la formazione di dissesti, è costituita dall'esecuzione di interventi di consolidamento strutturale pregressi. Questi ultimi, seppur realizzati in ossequio alle regole vigenti all'epoca dei lavori, si sono poi rivelati inappropriati in occasione degli eventi sismici del 2012.

“[...] In the last decades of twentieth century, strengthening interventions have been realized on almost all these buildings; although they mostly aimed to improve the connection between walls (tie rods, top curbs), sometimes they were invasive, especially when built in reinforced concrete coherently to the usual procedure of these times. [...] The latest strengthening and maintenance interventions have been usually the introduction of a r.c. ring beam on the top of masonry and its connection to the roof elements; sometimes, reinforced concrete

¹⁶⁰ *Ibid.*

¹⁶¹ U. Menicali, *I materiali dell'edilizia storica. Tecnologia e impiego dei materiali tradizionali*, Nis, Roma 1992, pp. 126-147; T. Mannoni, *Caratteri costruttivi dell'edilizia storica*, Sagep-Escum, Genova 1994, pp. 15-16; 37-38; M. Baldini, A. Nanni, J. Rossi, *Palazzo Borsari a Finale Emilia: rilievo e conoscenza per il restauro di un monumento danneggiato dal sisma*, tesi di laurea, Università di Bologna, Dipartimento di Architettura, relatore prof. arch. Andrea Ugolini, correlatori prof. arch. Federico Fallavollita, arch. Andrea Cavani, 2015, pp.159-175.

*slabs have been added upon the wooden planking, in order to reinforce the structure, but obtaining as a matter of fact an increase of the masses (and consequently of the seismic actions) [...]*¹⁶².

I solai latero-cementizi, messi in opera per sostituire chiusure orizzontali più datate, come ad esempio solai in legno o volte a padiglione o a crociera, si sono mostrati incompatibili con i manufatti storici. Questa tipologia di intervento, progettata per diminuire la vulnerabilità sismica dei manufatti fortificati, in realtà ha agito con effetto contrario, essendosi dimostrata efficace ad aumentare le masse in quota e di conseguenza anche l'intensità delle azioni sismiche alle quali le fabbriche storiche avrebbero dovuto rispondere. Le strutture fortificate modificate, da un punto di vista strutturale, in maniera inopportuna, durante recenti campagne di restauro, sotto sisma, sono state oggetto di importanti crolli in corrispondenza delle porzioni consolidate, come verificatosi ad esempio nel *Castello delle Rocche di Finale Emilia* e nella *Rocca di San Felice sul Panaro*. Nel primo caso, i crolli registrati in corrispondenza del *loggiate* del cortile interno, hanno consentito di rilevare la presenza di una trave in C.A., intatta, all'altezza dei capitelli del secondo ordine, un getto di calcestruzzo che ricopre completamente l'estradosso delle volte appartenenti allo stesso ordine e una serie di armature ossidate, concernenti un solaio sovrastante, ora polverizzato. Il pacchetto di copertura che chiudeva il terzo ordine, è costituito da orditure lignee, sormontate da solaio cementizio e coppi laterizi. Nella condizione post sisma la copertura del loggiato è andata in larga parte distrutta, le porzioni non crollate, nonostante presentino deformazioni rispetto la configurazione originaria, hanno permesso di analizzare il pacchetto costruttivo frutto di opere di restauro inopportune.

Gli unici crolli visibili nella *Rocca di San Felice sul Panaro*, in quanto non celati da alcuna opera provvisoria, sono quelli in corrispondenza del corpo principale della *torre Nord*. I crolli dei paramenti verticali in muratura hanno messo in evidenza ad altezza del primo solaio fuori terra, una struttura voltata laterizia, rinforzata da una soletta in C.A. con spessore molto importante. In questo caso il solaio non è crollato, ma si sono verificate sia l'espulsione delle armature orizzontali sia la distruzione delle strutture più deboli ad esso adiacenti.

Il consolidamento strutturale realizzato mediante l'inserimento di catene e di *capichiave* in acciaio ha dimostrato invece la propria efficacia sotto sisma, infatti ha evitato il crollo degli elementi architettonici restaurati con questo metodo (fig. 196). Si tratta di una tecnica meno invasiva e più compatibile rispetto quelle prese in rassegna ai paragrafi precedenti, tuttavia la rigidità delle porzioni in muratura ove vengono inseriti i tiranti aumenta, a scapito delle altre sezioni. La distribuzione non uniforme di rigidità, in caso di sisma, ha provocato fessurazioni, deformazioni ed espulsioni di materia in corrispondenza dei paramenti murari limitrofi ai *capichiave*, tuttavia ha evitato

¹⁶² Cattari S., Degli Abbatì S., Ferretti D., Lagomarsino S., Tralli A., *Damage assessment ...*, pp. 8-9.

danni ben più gravi, quali ad esempio i crolli, come negli apparati a sporgere delle *Torri Sud del Castello delle Rocche di Finale Emilia*.



Figura 196 – *Rocca di San Felice sul Panaro*, la presenza di tiranti ha evitato il collasso dell'elemento architettonico, tuttavia il paramento murario più esterno risulta leggermente spanciato.

L'elevata vulnerabilità sismica constatata nelle opere fortificate analizzate va inoltre studiata anche in rapporto al luogo e all'ambiente in cui sono state edificate. Tra le concause va tenuta in considerazione l'umidità che ha agito sulla consistenza dei laterizi oltre che su quella delle malte di allettamento e di sigillatura. Nella maggior parte dei siti esaminati infatti è possibile osservare una forte umidità di risalita capillare, favorita dalla presenza di falde acquifere non troppo profonde, ricordo dei vecchi fossati che perimetravano la maggior parte dei casi di approfondimento. L'umidità dell'aria e le infiltrazioni di acqua piovana, coadiuvate dalle argille contenute nei leganti, hanno inoltre favorito il dilavamento e il degrado dei giunti di malta¹⁶³.

¹⁶³ R. Gavolioso, a cura di, *Terrefirme. Emilia 2012*, Skira Editore, Milano 2014, p. 57.

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Come è stato chiarito nell'introduzione, la presente ricerca è partita da un approccio teorico, di indagine riguardante gli eventi sismici che hanno colpito l'Emilia nel 2012, sia da un punto di vista geografico che sismologico, e i caratteri storici e morfologico-costruttivi principali delle strutture fortificate presenti nell'area di indagine.

In un secondo momento il percorso di studio è diventato di tipo empirico, in quanto è iniziata la fase dedicata ai sopralluoghi, ai rilievi geometrici, materici e dei quadri fessurativi, volta all'individuazione dei cinque casi di approfondimento. Non è stato utilizzato un processo di tipo induttivo, avente quale oggetto di partenza casi particolari e strutture fortificate specifiche, ma un processo inverso, di tipo deduttivo, facente capo agli enti preposti e alle ricerche archivistiche e bibliografiche soprattutto durante la fase iniziale, per poter selezionare accuratamente le tredici strutture fortificate dall'elenco ben più folto estrapolato dalla banca dati della Direzione Regionale per i Beni Culturali e Paesaggistici per l'Emilia Romagna. L'elaborazione dei dati raccolti in fase di sopralluogo ha permesso di scegliere consapevolmente i cinque casi studio, in quanto era stato appurato che questi ultimi appartenessero a un gruppo omogeneo, tenendo in considerazione contemporaneamente le caratteristiche morfologico-costruttive, l'evoluzione storica e la destinazione d'uso¹⁶⁴.

Il processo deduttivo seguito ha quindi permesso di passare dal generale al particolare, da informazioni di tipo archivistico-bibliografico, a conoscenze ricavate *in itinere*, frutto dell'elaborazione dei numerosi dati evinti durante le indagini in campo.

L'importanza attribuita all'accuratezza delle operazioni di rilievo della costruzione nello stato attuale, inteso come descrizione stereometrica completa della fabbrica, si può tradurre anche in termini temporali e di difficoltà. Dato il numero e la complessità dei manufatti da indagare, tanto è stato il tempo dedicato alle indagini *in loco*.

Inoltre per poter essere in grado di rispondere agli interrogativi mossi dalla ricerca, l'impossibilità di realizzare indagini sperimentali, ha rappresentato un'ulteriore motivazione per eseguire accurate operazioni di rilievo e carpire da queste ultime il maggior numero di dati possibili.

Un procedimento di tipo deduttivo è stato utilizzato anche nella ricerca delle relazioni presenti fra le lesioni rilevate nei cinque casi di studio e i dissesti che le hanno innescate. Si è rivelato di fondamentale importanza lo studio delle lesioni, in tutte le loro caratteristiche, per poter capire i

¹⁶⁴ La *Rocca di Cento*, nonostante non sia stata oggetto di cinematismi di danno innescati dagli eventi sismici del 2012, e quindi non si sia dimostrata di particolare interesse nello studio dei legami che intercorrono tra tecniche costruttive e meccanismi di danno, è stata comunque inclusa nei casi di approfondimento per le caratteristiche morfologico-costruttive, l'evoluzione storica e la destinazione d'uso comuni con le altre quattro rocche indagate dettagliatamente.

legami tra queste manifestazioni e i cinematismi che le hanno prodotte, definire questi ultimi e le cause che li hanno generati. La prima fase di questo processo è stata la definizione minuziosa dei quadri di danno dei cinque casi di studio, messa a punto in fase di sopralluogo. Con il processo inverso descritto è stato possibile quindi risalire dai quadri di danno ai dissesti statici corrispondenti e poi procedere ancora dai dissesti alle cause perturbatrici. Lesioni e dissesti sono legati da relazioni di stretta interdipendenza, come ogni effetto è legato alla sua causa, tuttavia la ricerca ha evidenziato che ciascun meccanismo di danno riportato nell'omonimo abaco, non è conseguenza di una causa unica e determinata, ma di un insieme di cause che intervengono nelle loro combinazioni più varie¹⁶⁵.

I parametri maggiormente connessi alla vulnerabilità sismica, cioè le cause perturbatrici più importanti emerse dallo studio sui rapporti intercorrenti tra le tecniche costruttive e i meccanismi di danno, emersi dall'ultima fase della presente ricerca, sono la geometria dei complessi fortificati, ovvero la posizione reciproca occupata dagli elementi architettonici principali e l'evoluzione storica delle fabbriche, intesa come sequenza delle fasi di trasformazione edilizia, dall'ipotetica configurazione originaria a quella giunta all'alba degli eventi sismici. La successione realizzativa delle diverse porzioni ha permesso infatti di capire che spesso le zone di possibile discontinuità e disomogeneità materiale¹⁶⁶, coincidono con aree interessate da lesioni e deformazioni. Tutte le trasformazioni edilizie, avvenute durante le varie fasi costruttive, hanno determinato in ciascuna fabbrica eterogeneità e discontinuità, le quali contribuiscono ad allontanare la fabbrica da un edificio ideale, costruito a regola d'arte, per quanto riguarda la continuità materiale e l'omogeneità strutturale. Ogni trasformazione può essere letta come un processo di scadimento, al quale si associa un aumento della vulnerabilità. La perdita di continuità e omogeneità va collegata ad esempio all'oggettiva difficoltà di realizzare riprese e ammorsature murarie realmente efficaci, ossia in grado di raggiungere caratteristiche meccaniche simili a quelle dei paramenti preesistenti. In molti casi è stato proprio il danno sismico a segnalare l'esistenza di discontinuità da trasformazione.

Tra le cause più rilevanti va elencata anche la scarsa qualità dei materiali utilizzati, come ad esempio le malte povere di calce, le modalità di messa in opera rivelatesi sotto sisma inadeguate, come ad esempio le tessiture senza l'utilizzo di adeguate connessioni trasversali. Inoltre nonostante gli elevati spessori riscontrati, un punto di debolezza intrinseco ai casi di studio analizzati, va ricercato negli elementi murari pieni, costituiti da più paramenti addossati, ma non ingranati tra loro. Questa tipologia di muratura è molto vulnerabile sismicamente in quanto non sono presenti connessioni tra

¹⁶⁵ “[...] Se ogni lesione elementare corrisponde a un unico dissesto elementare, non è vero che ad ogni dissesto elementare corrisponde una causa perturbatrice unica, ma le cause più diverse che possono intervenire isolatamente o variamente combinate fra loro [...]”. (Cfr. S. Mastrodicasa, *op. cit.*, pp. 7-9).

¹⁶⁶ Ministero per i beni e le attività culturali, CIRCOLARE n. 26 del 2 Dicembre 2010, *op. cit.*, pp. 42-44.

i vari livelli e questo permettendone esclusivamente lavoro per attrito, ne facilita lo scorrimento reciproco.

Il danno non è causato esclusivamente da una particolare modalità costruttiva, ma ogni meccanismo che si manifesta sotto sisma, si sviluppa sfruttando la vulnerabilità specifica di quel modo di costruire.

Un altro punto di debolezza consiste nella realizzazione di alcuni interventi di consolidamento strutturale pregressi. Questi ultimi, seppur progettati secondo le regole vigenti all'epoca dei lavori, hanno dimostrato di essere inappropriati in occasione dello sciame del 2012. Essi infatti non hanno fornito una risposta adeguata alle sollecitazioni sismiche, non hanno resistito al collaudo realizzato per opera di queste ultime, anzi possono essere associati all'accadimento di danni molto gravi.

Si vanno ad aggiungere all'elenco sopra riportato anche il luogo e l'ambiente in cui sono state edificate le strutture fortificate. Tra le concause va tenuta infatti in considerazione anche l'umidità che ha agito sulla consistenza dei laterizi oltre che su quella delle malte di allettamento e di sigillatura. Nella maggior parte dei siti esaminati infatti è possibile osservare una forte umidità di risalita capillare, favorita dalla presenza di falde acquifere non troppo profonde, ricordo dei vecchi fossati che perimetavano la maggior parte dei casi di approfondimento. L'umidità dell'aria e le infiltrazioni di acqua piovana, coadiuvate dalle argille contenute nelle malte, hanno favorito il dilavamento e il degrado dei giunti di malta.

Dalla presente ricerca è emerso inoltre che le caratteristiche dello sciame sismico influenzano le risposte fornite dalle strutture analizzate, ad esempio è stato possibile mettere in relazione la direzione dei *mainshock* con le modalità di oscillazione dei vari elementi architettonici. Soprattutto per quanto riguarda le parti sommitali, è possibile evidenziare un forte legame tra le modalità di oscillazione e le caratteristiche dei cinematismi di danno.

Così come un dissesto non è conseguenza di una causa unica e determinata, ma di un insieme di cause variamente combinate, ad ogni causa non corrisponde un solo rimedio, ma molteplici. Per selezionare la soluzione più adatta, bisogna valutare tutte le particolarità del manufatto storico in esame. Quest'ultimo infatti costituisce un *unicum* e come tale va trattato.

Un tratto innovativo dello studio condotto risiede nell'aver analizzato i manufatti fortificati in oggetto, applicando lo stesso criterio utilizzato in passato per altre tipologie di edifici¹⁶⁷. La suddivisione di ciascuna fortificazione negli elementi architettonici che la compongono ha permesso di trarre informazioni circa la risposta sismica e i meccanismi osservati in ogni porzione analizzata. Inoltre le osservazioni prodotte per gli elementi architettonici indagati risultano così reiterabili per gli stessi elementi appartenenti ad altre strutture fortificate, siano esse emiliane o di aree geografiche diverse.

¹⁶⁷ F. Doglioni, A. Moretti, V. Petrini, *op. cit.*, pp. 7-10.

La disamina delle caratteristiche tipologiche dei macroelementi, compiuta per i casi di approfondimento, si è rivelata fondamentale per lo studio dell'evoluzione dei vari modi di danno sismico e la possibilità di confrontare situazioni simili ha permesso di trarre indicazioni circa le correlazioni esistenti tra gli elementi architettonici e i relativi meccanismi di danno.

Gli elementi a prevalente sviluppo verticale, sia *masti*, sia *torri angolari*, sia *perimetrali*, al netto dei cinematismi di rottura riguardanti le parti sommitali, che saranno trattati in separata sede, sono stati interessati da un distacco innescatosi *tra i torrioni e le mura di cinta*. Il quadro fessurativo rilevato presenta numerose analogie nei casi interessati, nonostante le caratteristiche meccanico geometriche di cortine e torrioni siano assai variabili. È stato osservato che una delle principali causa del meccanismo di distacco va ricercata in un vizio costruttivo comune: i paramenti murari non risultano ben ammorsati lungo le zone di sovrapposizione presenti *tra mura di cinta e torri*, come evidenziato anche da un'attenta analisi dei corsi murari.

I corpi principali delle *torri*, in molti dei casi indagati, sono stati interessati anche da altre tipologie di cinematismi. Alcuni di questi sono stati provocati dalla presenza di pesanti elementi in C.A., come ad esempio cordoli o solette, messi in opera durante interventi di consolidamento strutturale. L'elevata rigidità degli elementi in C.A. ha favorito la creazione di porzioni di muratura decomprese, le quali tendono a ribaltarsi, come se fossero muri isolati, sollecitati da forze ortogonali. Inoltre la parte basamentale delle *torri*, esclusivamente in uno dei casi studio, è stata oggetto di un cinematismo di danno composto da un susseguirsi di fenomeni di ribaltamento fuori dal piano. In risposta alle oscillazioni indotte dal sisma, il torrione ha reagito in funzione dei vincoli laterali costituiti dagli elementi ad esso affiancati. È possibile ipotizzare che la parte superiore del torrione non abbia riportato gravi danni, in quanto la porzione inferiore abbia dissipato energia durante gli eventi tellurici, comportandosi come un isolatore sismico.

I *merli* sono stati danneggiati dall'innescarsi di cinematismi di rottura a taglio. Le forze sismiche hanno lesionato esclusivamente le *merlature* non libere, ovvero quelle che sostenevano le coperture, con l'ausilio di tamponamenti murari costruiti in epoche successive. Il comportamento sismico dei merli è stato influenzato in maniera negativa dalle modifiche avvenute in epoche successive a quella di costruzione. Infatti le caratteristiche geometriche iniziali, ovvero il rapporto base-altezza-spessore, cioè la snellezza poco accentuata, risultavano adatte a sopportare le forze sismiche. Le trasformazioni hanno modificato tuttavia la situazione strutturale delle merlature, rendendole non più un elemento architettonico indipendente, ma parte di un sistema integrato.

In alcuni casi di studio i *beccatelli* hanno preso parte a cinematismi di *ribaltamento fuori dal piano*. Gli elementi più sollecitati e maggiormente danneggiati sono stati quelli in posizione isolata rispetto l'intera fabbrica storica, in quanto non avevano in adiacenza elementi architettonici in grado di contrastarne le oscillazioni indotte dagli eventi tellurici.

L'analisi condotta nella presente ricerca di dottorato ha permesso di riconoscere i meccanismi tipici di ciascun macroelemento e di formare correlazioni tra le tipologie di danno rilevate e le diverse conformazioni e caratteristiche costruttive degli elementi. Inoltre è stata individuata la presenza di fattori specifici, ovvero caratteri propri di ogni struttura fortificata, che hanno influito sull'evoluzione dei cinematismi: favorendoli, frenandoli o indirizzandoli verso specifiche modalità. I differenti comportamenti riscontrati per uno stesso macroelemento ubicato in strutture distinte, ha permesso di associare le variabili dei processi di danno alla presenza di specifiche caratteristiche, condizioni o requisiti. Attraverso un'osservazione mirata degli aspetti costruttivi e di consistenza dei macroelementi, è stato possibile riconoscerne il ruolo condizionante rispetto al danno.

È stato ritenuto utile redigere un abaco illustrato dei cinematismi non esclusivamente per ampliare le catalogazioni già edite in materia¹⁶⁸ e per raccogliere in maniera ordinata le osservazioni emerse dai rilievi dello stato di danno scaturite dai sopralluoghi realizzati per le tredici strutture indagate, ma anche perché data la presenza di moltissimi manufatti fortificati non solo in Emilia-Romagna, ma in tutta la penisola italiana, si potrebbe analizzare la vulnerabilità in caso di sisma di questa tipologia edilizia, prima che i manufatti siano danneggiati da eventi tellurici.

A dispetto dei pochi casi studiati rispetto la vastità di manufatti fortificati presenti nella zona di interesse, si può affermare che l'approfondimento dimostra la propria utilità nel comprendere se le rocche non danneggiate dagli eventi sismici del 2012 siano sismicamente vulnerabili, cioè se potrebbero essere oggetto di cinematismi di danno, qualora si presentino altri eventi sismici, con epicentro ad esse più vicino o con intensità maggiore rispetto quelli verificatisi recentemente. Avendo preso in considerazione nella presente ricerca esclusivamente le rocche danneggiate da eventi sismici, i risultati ottenuti permettono di intuire i possibili fenomeni di dissesto che potrebbero innescarsi su fortificazioni simili, sia tipologicamente che costruttivamente, anche nel caso in cui queste ultime dovessero essere collocate al di fuori del territorio emiliano. Comparando le tecniche costruttive utilizzate nei casi di studio con quelle utilizzate in altre rocche, si potrebbe prevedere la possibilità di innescarsi di meccanismi di danno in queste ultime, prima di un reale danneggiamento.

Proprio durante quest'ultimo anno di ricerca di dottorato, un inestimabile patrimonio culturale italiano in muratura è andato distrutto in occasione degli eventi sismici che hanno devastato il centro Italia, a dimostrazione dell'attualità di quanto fin qui studiato.

È quindi comprensibile il valore attuale di questa ricerca, cui dovrebbero seguire altri studi che continuino a indagare quanto in questa sede non è stato possibile approfondire, studi che dovrebbero essere condotti avvalendosi della collaborazione tra architetti, strutturisti e storici, data la vastità e l'interdisciplinarietà delle tematiche trattate.

¹⁶⁸ Cattari S., Degli Abbatì S., Ferretti D., Lagomarsino S., Tralli A., *Damage assessment ...*, pp. 15.

È inoltre auspicabile che durante i possibili futuri nuovi percorsi di ricerca sia possibile realizzare prove in sito o in laboratorio, per comprendere le proprietà meccaniche di deformabilità e resistenza dei materiali maggiormente utilizzati (malta e laterizi in particolare) ed arrivare ad un livello di conoscenza più approfondito dei manufatti. Il presente studio ha portato ad un livello di comprensione delle rocche limitato, paragonabile ad un LV1¹⁶⁹, basato sulla padronanza di dati geometrici e/o meccanici, qualitativi. Attraverso le ipotetiche future ricerche, si presuppone di raggiungere un livello di conoscenza analitico, assimilabile ai livelli LC2 e LC3¹⁷⁰, imperniato sull'affinamento della conoscenza geometrico e materico-costruttiva, attraverso l'acquisizione di tutti i dati non disponibili durante il percorso di studio appena conclusosi, e sull'acquisizione di dati indiretti, quali analisi *in situ* o in laboratorio.

¹⁶⁹ D.P.C.M. 9 Febbraio 2011, *op. cit.*, p. 10.

¹⁷⁰ *Ibid.*

QUADRO ANALITICO-GEOGRAFICO DEGLI EDIFICI CATALOGATI**APPARATI DOCUMENTALI**

Codice_complesso	Provincia	Comune	Frazione	Indirizzo	Denominazione	Proprietà_tipo	Danneggiato
37005_1	Bologna	Bentivoglio		Via Saliceto 1/3	Castello di Bentivoglio	Pubblica	VERO
37024_2	Bologna	Crevalcore	Galeazza Pepoli	Via Provanone, 8585A/via Castello, 26	Torre Galeazza/Castello di Galeazza Pepoli	Privata	VERO
37024_2	Bologna	Crevalcore	Galeazza Pepoli	Via Provanone, 8585A/via Castello, 26	Torre Galeazza/Castello di Galeazza Pepoli	Privata	VERO
37024_1	Bologna	Crevalcore	Guisa Pepoli	Via Albarese 25/D	Torre Guisa Pepoli/Torre Pepoli	Privata	VERO
37024_8	Bologna	Crevalcore	Palata Pepoli	Via Provanone, 5121	Palazzo già Pepoli/Castello Pepoli /Palazzo Torlonia e Oratorio Vergine Assunta	Privata	VERO
37024_AN	Bologna	Crevalcore		Via della Rocca 2	Fabbricato Ex Prigioni di Porta Bologna - Museo dei Burattini "L. Preti"	Pubblica	VERO
37024_L	Bologna	Crevalcore		Piazzale Porta Bologna; via della Libertà	Polo Barberini e Porta Bologna	Pubblica	VERO
37024_M	Bologna	Crevalcore		Piazzale Porta Modena	Porta Modena	Pubblica	VERO
37028_1	Bologna	Galliera		Via Barchetta Galliera	Torre Medioevale/Torre dell'antico Castello di Galliera	Privata	FALSO
37028_1	Bologna	Galliera		Via Barchetta Galliera	Torre Medioevale/Torre dell'antico Castello di Galliera	Privata	FALSO
37037_9	Bologna	Medicina		Via della Libertà, 73	Torre dell'Orologio già del Podestà	Pubblica	FALSO
37038_1	Bologna	Minerbio	San Martino in Soverzano	Via San Donato, 58	Castello dei Manzoli. Castello di San Martino con scuderie (portico)	Privata	VERO
37048_7c	Bologna	Pieve di Cento		via Gramsci	Porta Asia	Pubblica	VERO
37048_7a	Bologna	Pieve di Cento		via Matteotti	Porta Bologna (Beltesca della Caselle)	Pubblica	VERO
37048_7b	Bologna	Pieve di Cento		via Garibaldi	Porta Cento (Porta S. Felice)	Pubblica	VERO
37048_7d	Bologna	Pieve di Cento		via Melloni	Porta Ferrara	Pubblica	VERO
37056_3	Bologna	S.Agata Bolognese	Crocetta	Via Verona, 48	Torre quadrata di Crocetta	Privata	VERO
37052_3	Bologna	S.Giorgio di Piano		Via Libertà	Torresotto Caliceti	Pubblica	VERO
37053_8	Bologna	S.Giovanni in Persiceto	San Matteo della Decima	Via Cento n. 290	Villa La Giovannina (o Castello della Giovannina)	Privata	VERO
37050_3	Bologna	Sala Bolognese		Via Carline, 32	Torre del Fondo Castello/Torre Medioevale	Privata	VERO
37050_3	Bologna	Sala Bolognese		Via Carline, 32	Torre del Fondo Castello/Torre Medioevale	Privata	VERO
38003_883	Ferrara	Bondeno	Castello di Santa Bianca	Via Centrale, 9/17	Castello di Santa Bianca	Privata	VERO
38003_13	Ferrara	Bondeno	Stellata	via Argine Po	Fortezza estense/Rocca possente	Pubblica	VERO
38003_AF	Ferrara	Bondeno		Via XX Settembre - Piazza Martiri	Torre piezometrica	Pubblica	VERO
38004_14	Ferrara	Cento		Via Donati	Porta Pieve	Pubblica	VERO
38004_23	Ferrara	Cento		piazza della Rocca	Rocca	Pubblica	VERO
38004_J	Ferrara	Cento		corso del Guercino, 4	Scuola primaria Rodari (all'interno dell'ex monastero Santuario della Rocca)	Pubblica	VERO
38008_313	Ferrara	Ferrara		Corso Giovecca	Castello Estense	Pubblica	VERO
38008_454	Ferrara	Ferrara		Piazza Travaglio, 22, 24, 26	Porta Reno (ex Porta Paola) ed immobili presso mura	Pubblica	VERO
38008_594	Ferrara	Ferrara		Via Portareno, 11- Via del Podestà, 2	Torre dell'orologio (presso il Palazzo della Ragione)	Pubblica	VERO
38016_920	Ferrara	Mirabello		via Giovecca	Torre piezometrica	Pubblica	VERO
38018_709	Ferrara	Poggio Renatico	Chiesa nuova	via Passo	Torre del Coccone	Privata	VERO
38018_711	Ferrara	Poggio Renatico		piazza Castello,1	Castello Lambertini (Municipio)	Pubblica	VERO
38018_710	Ferrara	Poggio Renatico		via Marconi, 10	Torre dell'Ortolano o Fornasini	Privata pers. giur. S.F.L.	VERO
38018_714	Ferrara	Poggio Renatico		Via Ferrara	Torre dell'Uccellino	Privata	VERO
38022_842	Ferrara	Vigarano Mainarda	Torre Beltrami Guariento	Via della Torre, 4	Torre Beltrami Guariento	Privata	VERO
38023_733	Ferrara	Voghiera	Belriguardo	Via Provinciale, 266	Delizia di Belriguardo - Castello, Barchessa e Mulino	Privata	VERO
36003_2	Modena	Campogalliano		Via della Torre, 2	Complesso la Rocca	Pubblica	FALSO
36004_C	Modena	Camposanto		Via Panaro	Torre Civica Ferraresi	Pubblica	VERO
36005_20	Modena	Carpi		piazza Martiri	Castello dei principi Pio/Castello dei Pio	Pubblica	VERO
36005_AE	Modena	Carpi		Piazzale Ramazzini 53	Mercato coperto "Porta Modena"	Pubblica	VERO
36012_13	Modena	Finale Emilia	Massa Finalese	Strada Provinciale di Mirandola	Castello Carrobbio	Privata	VERO
36012_5	Modena	Finale Emilia		Piazza Gramsci	ROCCA- Castello delle Rocche, Castello estense; Casa Pisa	Pubblica	VERO
36012_4	Modena	Finale Emilia		Piazza Baccarini	Torre dei Modenesi (o dell'Orologio)	Pubblica	VERO
36012_P	Modena	Finale Emilia		Via Zuffi 2	Torre piezometrica	Pubblica	VERO
36019_1	Modena	Maranello	Torre Maina, Montina		Torre di Pietrobono della Montina	Privata	VERO
36021_2	Modena	Medolla	Malcantone	via Provinciale, 68	Torre Malcantone	Privata	VERO
36022_12-13	Modena	Mirandola		piazza Marconi	Castello dei Pico (resti Vecchio Castello Pico)	Pubblica e privata	VERO
36022_H	Modena	Mirandola		piazza Costituente	Oratorio della Madonna della Porta (La Madonnina)	Ecclesiastica	VERO
36023_72	Modena	Modena		via Lanfranco	Torre della Ghirlandina	Pubblica	VERO
36027_2	Modena	Nonantola		via Macello	Torre del Cassero o Salimbeni (Torre dei bolognesi)	Pubblica	VERO
36027_3	Modena	Nonantola		via Torre	Torre dell'Orologio (Torre dei Modenesi)	Pubblica	VERO
36028_1	Modena	Novi	Rovereto sulla Secchia	via Ricci, 6	Torre Sacchella	Privata	VERO
36028_8	Modena	Novi			Torre civica o Torre dell'orologio	Pubblica	VERO
36037_3	Modena	S.Felice sul Panaro		Corso Mazzini/via Campi	Castello/Rocca estense	Pubblica	VERO
36037_3	Modena	S.Felice sul Panaro		Corso Mazzini/via Campi	Castello/Rocca estense	Pubblica	VERO
36037_14	Modena	S.Felice sul Panaro		Piazza Matteotti	Torre dell'Orologio	Pubblica	VERO
36037_NO_1	Modena	S.Felice sul Panaro		Via Terrapieni Nord 2	Torre di Via Terrapieni / Torre Cadore	Privata	VERO
36037_2	Modena	S.Felice sul Panaro		Via Campi, 2 - Via Terrapieni, 113	Torre di Via Terrapieni / Torre Duò	Privata	VERO
36037_1	Modena	S.Felice sul Panaro		via Terrapieni	Torretta / Torre Borgo	Pubblica	VERO
36040_3	Modena	Sassuolo		via Montegibbio 54,56,58,60	Castello di Montegibbio	Pubblica	VERO
36044_1	Modena	Soliera		Piazza Repubblica - piazza Sassi 2	Castello dei Pio - Castello Campori	Pubblica	VERO
36044_H	Modena	Soliera		Via Libertà 33	Torre piezometrica	Pubblica	VERO
36046_6	Modena	Vignola		Piazza dei Contrari, 4	Rocca di Vignola - Rocca Contrari	Privata pers. giur. S.F.L.	VERO
35012_1	Reggio Emilia	Casalgrande	Salvaterra		Castello di Salvaterra	Privata	VERO
35020_6	Reggio Emilia	Correggio		Piazza San Quirino, via Cavour 5	Chiesa parrocchiale di San Quirino (Duomo di San Quirino) e Campanile (torre)	Ecclesiastica e Pubblica	VERO
35024_N	Reggio Emilia	Guastalla		piazza Matteotti	Torre civica	Pubblica	VERO
35026_D	Reggio Emilia	Luzzara		piazza Ferrari	Torre civica	Pubblica	VERO
35028_1	Reggio Emilia	Novellara		piazza Marconi, 1	Rocca dei Gonzaga	Pubblica	VERO
35030_11	Reggio Emilia	Quattro Castella			Castello di Monte Angelo	Privata	VERO
35032_1	Reggio Emilia	Reggiolo		piazza Martiri, 1	Castello/Rocca comunale	Pubblica	VERO
35036_E	Reggio Emilia	Rubiera		Via Trento, 2	Torre Campanaria - Casa del Campanaro dell'Antica Chiesa di S. Biagio a Rubiera	Ecclesiastica	VERO
35037_2	Reggio Emilia	S.Martino in Rio		Corso Umberto I, 22	Rocca Estense e pertinenze	Pubblica	VERO
35037_G	Reggio Emilia	S.Martino in Rio			Torre dell'orologio (o Torre Civica)	Pubblica	VERO

Figura 197 - Elenco strutture fortificate (dalla banca dati della Direzione Regionale per i Beni Culturali e Paesaggistici per l'Emilia Romagna)

PARAMETRI DI CONFRONTO ANALITICO FRA I CINQUE CASI DI APPROFONDIMENTO

Per poter confrontare analiticamente i cinque manufatti fortificati indagati, sono stati scelti cinque parametri significativi, facilmente quantificabili, attraverso i quali sono stati paragonati gli elementi architettonici “*principali e secondari*” appartenenti ai vari casi di studio considerati.

Questa ulteriore modalità di confronto fra i cinque casi di approfondimento, permette di completare le considerazioni descrittive sugli elementi architettonici esposte al II capitolo del presente studio.

PARAMETRO n. 1: COEFFICIENTE DI SNELLEZZA DEI TORRIONI

È dato dal rapporto tra l'altezza del torrione, compresa tra il piano di campagna e l'inizio del camminamento di ronda, e il diametro medio delle torri (fig. 198). Per quanto riguarda i casi di studio analizzati, tutti i torrioni hanno pianta quadrangolare. Nell'approfondimento condotto quindi il diametro medio è stato sostituito dalla media delle lunghezze dei lati rappresentati nelle planimetrie di riferimento.

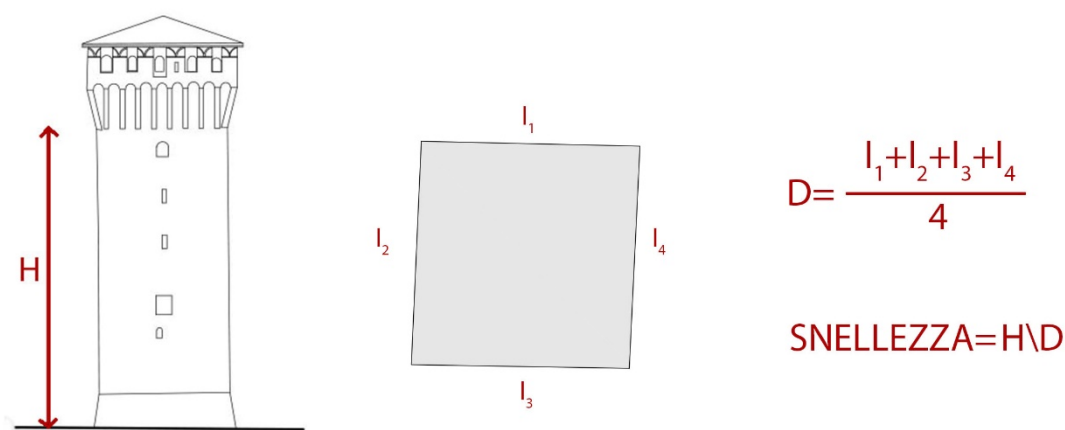
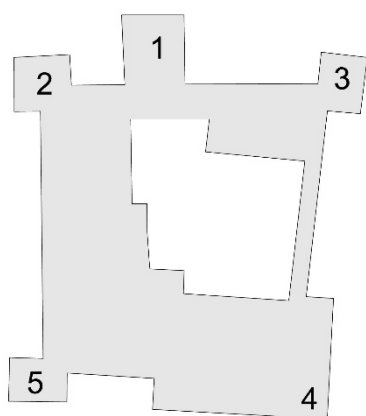


Figura 198 – Elementi per la definizione del parametro n. 1.

Dall'analisi dei dati riportati in seguito, a fianco delle rispettive planimetrie di riferimento, si può evidenziare che solo per la Rocca di San Felice sul Panaro il coefficiente di snellezza dei torrioni è costante e pari circa a 2.

Nelle strutture fortificate di Finale Emilia, Vignola e Cento, il valore di questo primo parametro, è diverso per ciascun macroelemento.

La Rocca di Reggiolo rappresenta un'eccezione: risulta impossibile quantificare il coefficiente di snellezza, in quanto il manufatto fortificato in oggetto non possiede camminamenti di ronda, pertanto l'altezza definita secondo le caratteristiche riportate ad inizio paragrafo, non risulta misurabile.



SAN FELICE SUL PANARO

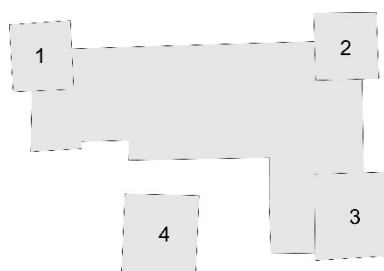
torre 1: $12/6=2$

torre 2: $10,5/5,14=2,0$

torre 3: $9,6/4,56=2,11$

torre 4: $20,54/10,25=2,00$

torre 5: $9,56/4,65=2,06$



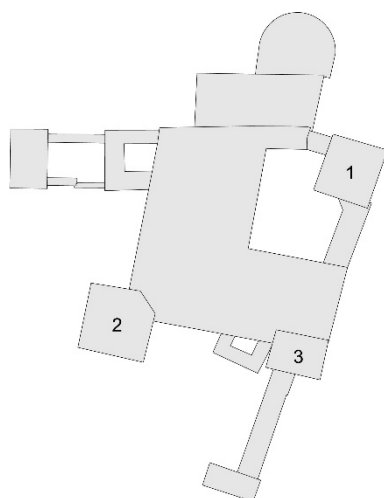
FINALE EMILIA

torre 1: $12,65/7,79=1,62$

torre 2: $12,74/5,79=2,2$

torre 3: $12,73/8,71=1,46$

torre 4: $22,94/8,19=2,8$

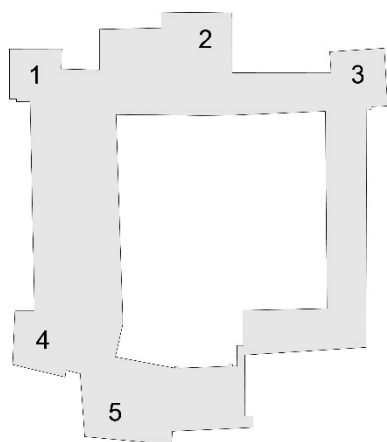


VIGNOLA

torre 1: $22,48/5,26=4,27$

torre 2: $14,85/8,93=1,66$

torre 3: $20,44/7,01=2,92$



CENTO

torre 1: $7,25/5,67=1,28$

torre 2: $7,3/7,48=0,98$

torre 3: $7,25/6,06=1,20$

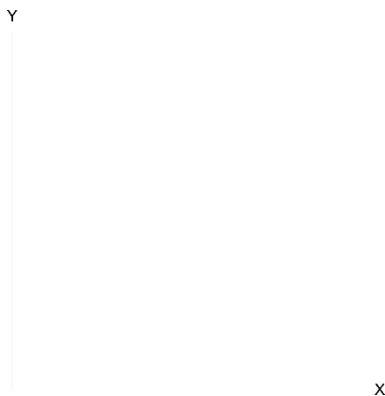
torre 4: $7,25/5,78=1,25$

torre 5: $20,39/8,87=2,30$

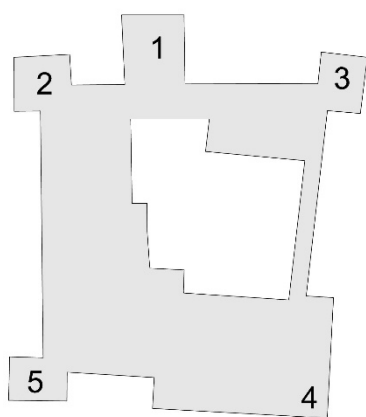
PARAMETRO n. 2: SPORGENZA DELLE TORRI RISPETTO LE CORTINE MURARIE ADIACENTI

Per poter descrivere la posizione reciproca tra le torri e gli altri elementi architettonici, si è cercato di quantificare la sporgenza delle prime rispetto le cortine murarie vicine.

La misurazione dei dati di cui sopra, è stata effettuata mediante il sistema cartesiano sotto riportato.



Dall'analisi condotta è emerso che il parametro n. 2 si mantiene all'incirca costante, in ciascun caso studio, esclusivamente se riferito a torri coeve ed afferenti ad una sola facciata.



SAN FELICE SUL PANARO

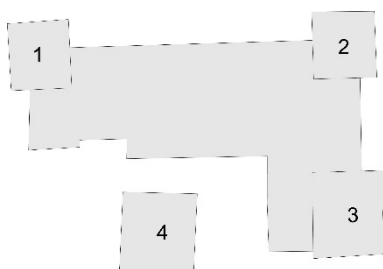
torre 1: (X= 0; Y= 6,32 rispetto edificio su un lato e 6,22 rispetto edificio sull'altro lato)

torre 2: (X= -2,39; Y= 2,79)

torre 3: (X= 3,02; Y= 2,91)

torre 4: (X= 2,48; Y= -2,82)

torre 5: (X= -3,05; Y= -2,63)



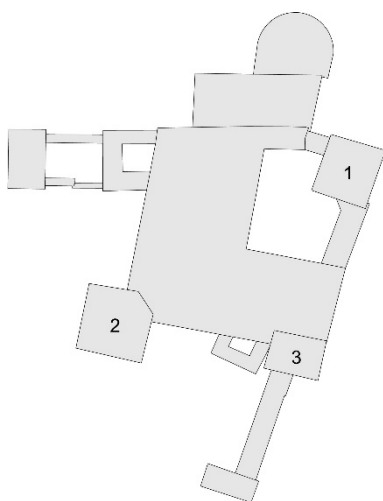
FINALE EMILIA

torre 1: (X= -2,54; Y= 3,82)

torre 2: (X= 2,27; Y= 3,83)

torre 3: (X= 2,95; Y= -0,99)

torre 4: parametro non misurabile: mastio isolato

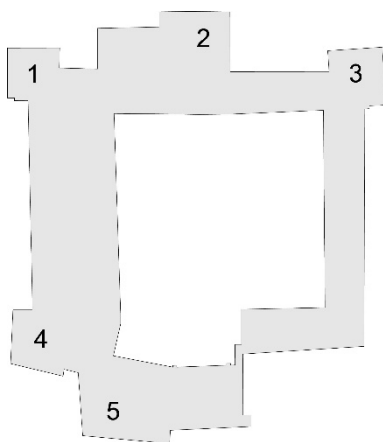


VIGNOLA

torre 1: (X= 0,35 cinta sporgente rispetto torrione; Y= 0,50)

torre 2: (X= -5,80; Y= -6,40)

torre 3: (X= 0; Y= -3,78)



CENTO

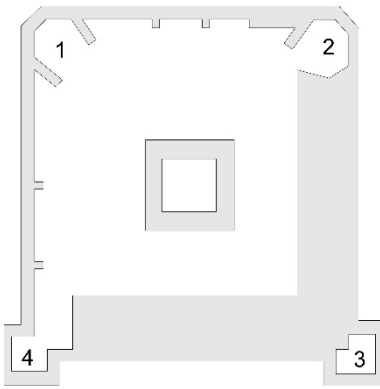
torre 1: (X= -2,26; Y= 2,20)

torre 2: (X= 0; Y= 1,66 rispetto edificio su un lato e 6,58 rispetto cinta muraria sull'altro lato)

torre 3: (X= 1,79; Y= 2,30)

torre 4: (X= -2,13; Y= -0,76)

torre 5: (X= 0; Y= 1,46 rispetto edificio su un lato e 6,93 rispetto cinta muraria sull'altro lato)



REGGIOLO

torre 1: non sporgente rispetto cinta muraria

torre 2: non sporgente rispetto cinta muraria

torre 3: (X= 3,65; Y= -3,10)

torre 4: (X= -2,7; Y= -3,0)

PARAMETRO n. 3: PERCENTUALE DI SUPERFICIE OCCUPATA DA TORRIONI

Questo parametro è stato valutato come il rapporto tra la superficie occupata nei prospetti dai torrioni e dalle cortine.

I dati ricavati sono stati suddivisi, in ogni caso studio, per ogni prospetto e riportati prima in maniera analitica e successivamente attraverso rappresentazioni grafiche: nello specifico sono state campite in grigio scuro le superfici imputabili alle *torri* e in grigio chiaro quelle attribuibili a *cortine murarie* ed edificio (figg. 199-200).

FINALE EMILIA

Prospetto EST: torrione 8,53 – edificio 13,67 – torrione 9,53;

Prospetto OVEST: torrione 10,23 – edificio 12,51 – torrione 8,26;

Prospetto SUD: torrione 8,20 – edificio 32,82 – torrione 8,22;

Prospetto NORD: torrione 12,24 – edificio 9,10 – torrione 17,21 – edificio 8,52.

VIGNOLA

Prospetto EST: cortina muraria (2,59 + 12,03 + 2,99) - torrione 4,66 - edificio (8,26 + 9,72) - torrione 7,18 - cortina muraria (6,29 + 7,28);

Prospetto NORD: torrione 6,98 – edificio (21,56 + 7,36 + 11,75);

Prospetto OVEST: (8,07 + 8,47 + 20,41 + 7,85 + 11,6 + 2,65).

CENTO

Prospetto OVEST: torrione 6,7 + edificio 21,8 + torrione 6,7 + torrione 10,67;

Prospetto NORD: torrione 7,05 + edificio 9,18 + torrione 8,8 + edificio 10 + torrione 6,7;

Prospetto EST: cortina muraria (7,65 + 26,18) + torrione 7,05;

Prospetto SUD: torrione 6,7 + edificio 1,1 + torrione 11,72 + edificio 8 + cortina muraria 12,5.

SAN FELICE SUL PANARO

Prospetto OVEST: torrione 5,48 – edificio 21,61 – torrione 4,64;

Prospetto NORD: torrione 5,31 – edificio 11,70 – torrione 6,59 – edificio 4,68 – torrione 5,50;

Prospetto EST torrione 11,56 – cortina muraria 17,31 – torrione 5,76;

Prospetto SUD torrione 6,12 – edificio (7,77 + 4,88) – torrione 11,56.

Particolarità: nelle misurazioni effettuate sono stati tenuti in considerazione anche i camminamenti di ronda. Le superfici individuate fanno riferimento esclusivamente agli elementi riportati in primo piano nei prospetti corrispondenti.

REGGIOLO

Prospetto SUD: torrione 7,82 – edificio 34,13 – torrione 7,88;

Prospetto OVEST: torrione 8,11 – cortina muraria 27,60 – torrione 9,27;

Prospetto NORD: torrione 9,42 – cortina muraria 23,31 – torrione 9,89;

Prospetto EST: torrione 10,57 – edificio 28,50 – torrione 7,93.

Particolarità: non sono stati presi in considerazione il *mastio*, in quanto rappresentato solo parzialmente negli elaborati grafici reperiti, e il *rivellino*, ubicato in corrispondenza del lato Sud, in quanto analizzato insieme al edificio SUD.

Le considerazioni effettuate per il parametro n. 3, non hanno permesso di riscontrare alcuna particolarità utile ai fini della presente ricerca.

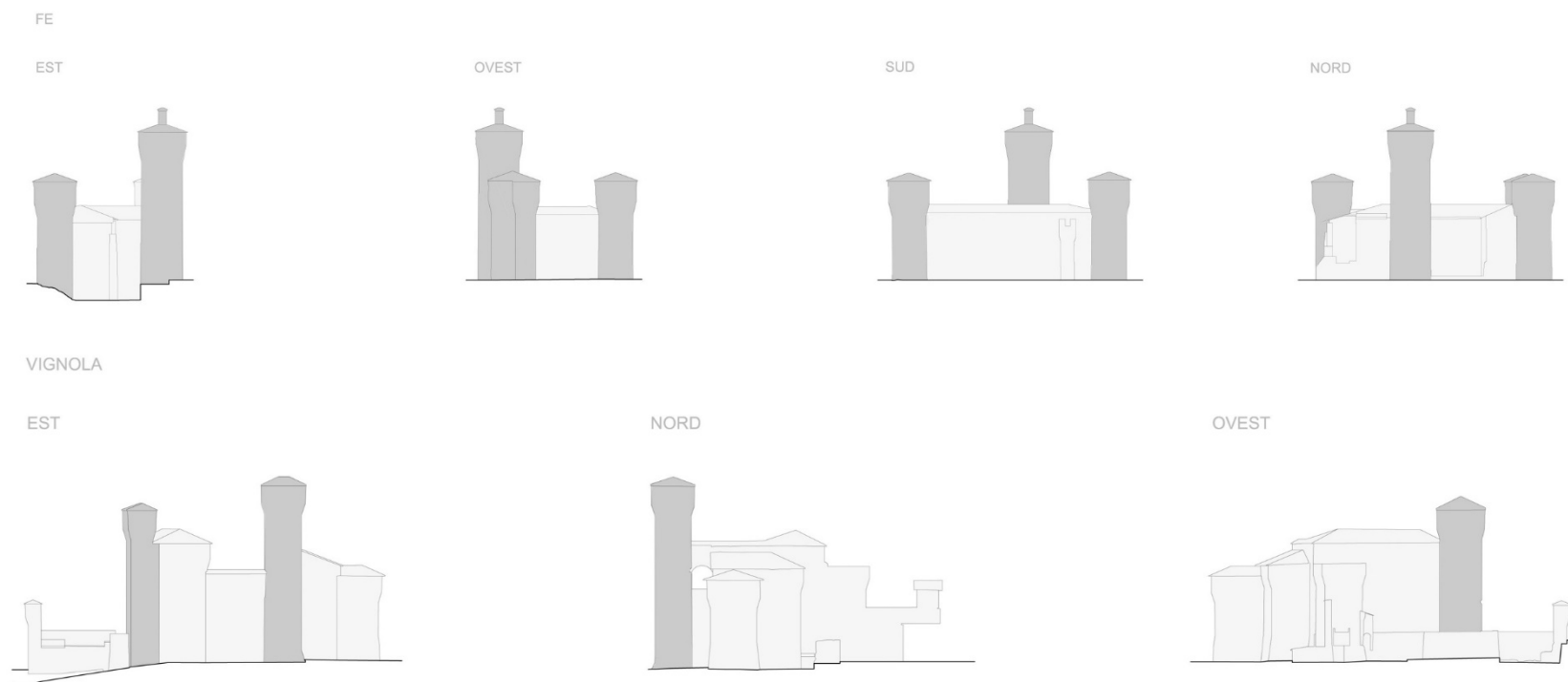


Figura 199 - Rilievo dei prospetti relativi le Rocche di Finale Emilia e di Vignola (dall'alto verso il basso).

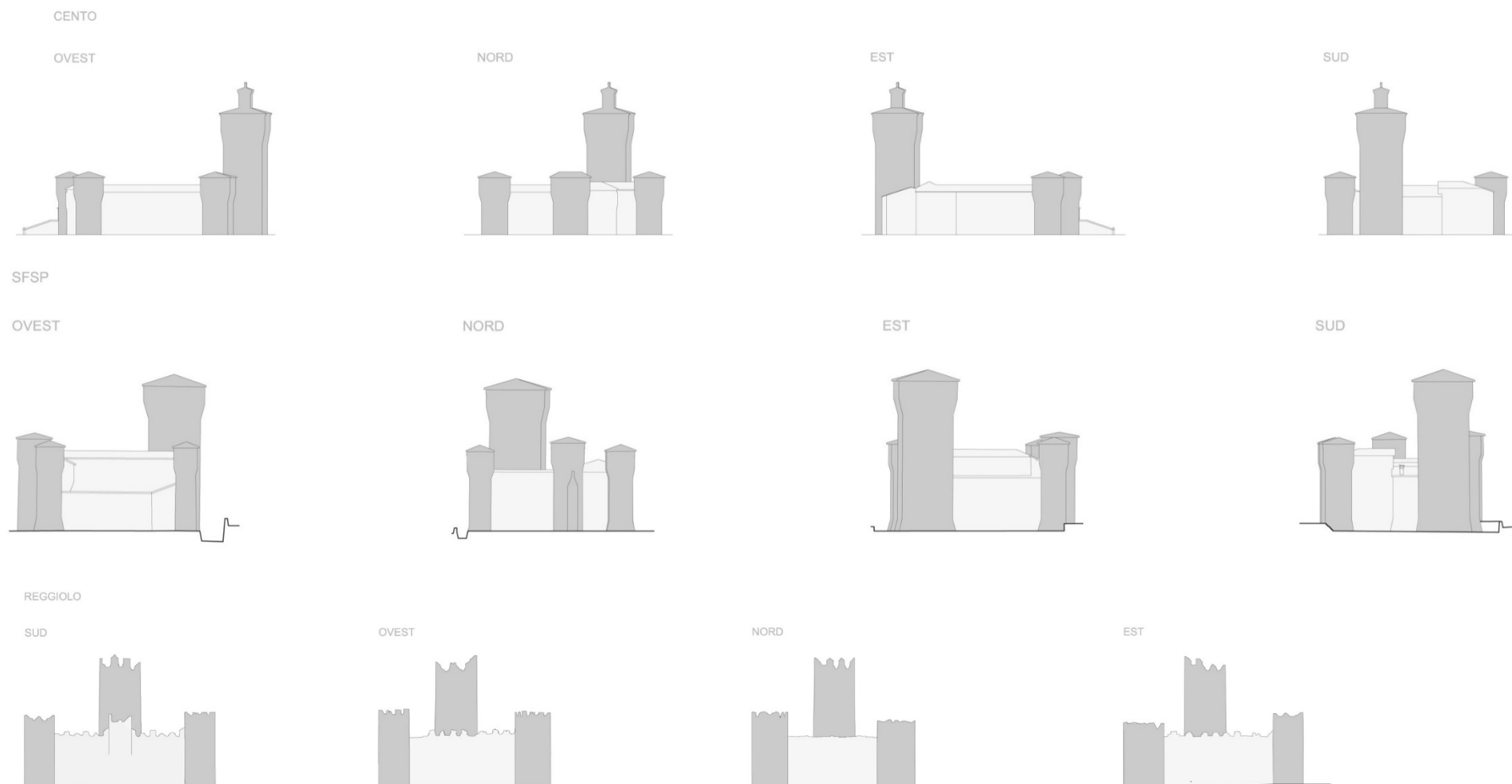


Figura 200 - Rilievo dei prospetti relativi le Rocche di Cento, di San Felice sul Panaro e di Reggiolo (dall'alto verso il basso).

PARAMETRO n. 4: SPESSORI MURARI

I dati rilevati durante i sopralluoghi eseguiti nei casi di approfondimento, ad eccezione delle poche sezioni murarie messe in evidenza da crolli ed altri gravi cinematismi di danno innescatisi, non hanno permesso di stabilire lo spessore delle murature per ciascun elemento architettonico, al variare dell'altezza rispetto il piano di campagna.

La definizione del parametro n. 4, avvenuta attraverso lo studio dei rilievi reperiti, ha consentito di analizzare le sezioni orizzontali delle torri, in corrispondenza di ogni piano calpestabile (figg. 201-202-203-204-205-206-207-208-209-210-211).

Gli spessori murari rilevati mediante le modalità poco sopra descritte, sono stati successivamente messi in relazione attraverso la costruzione di modelli assonometrici a *“fil di ferro”*, nei quali le sezioni murarie orizzontali risultano sovrapposte in scala rispetto le altezze.

L'analisi delle assonometrie rappresenta un metodo speditivo per evidenziare variazioni significative degli spessori murari ed è possibile comprendere la snellezza degli elementi architettonici mettendo in relazione le profondità con le altezze.

Ci si limita, in seguito, a riportare esclusivamente gli elaborati grafici afferenti il quarto parametro preso in esame, senza alcun commento. Tutte le particolarità e le considerazioni possono essere infatti colte direttamente dall'osservazione delle piante e dei modelli assonometrici rappresentati.

FINALE EMILIA

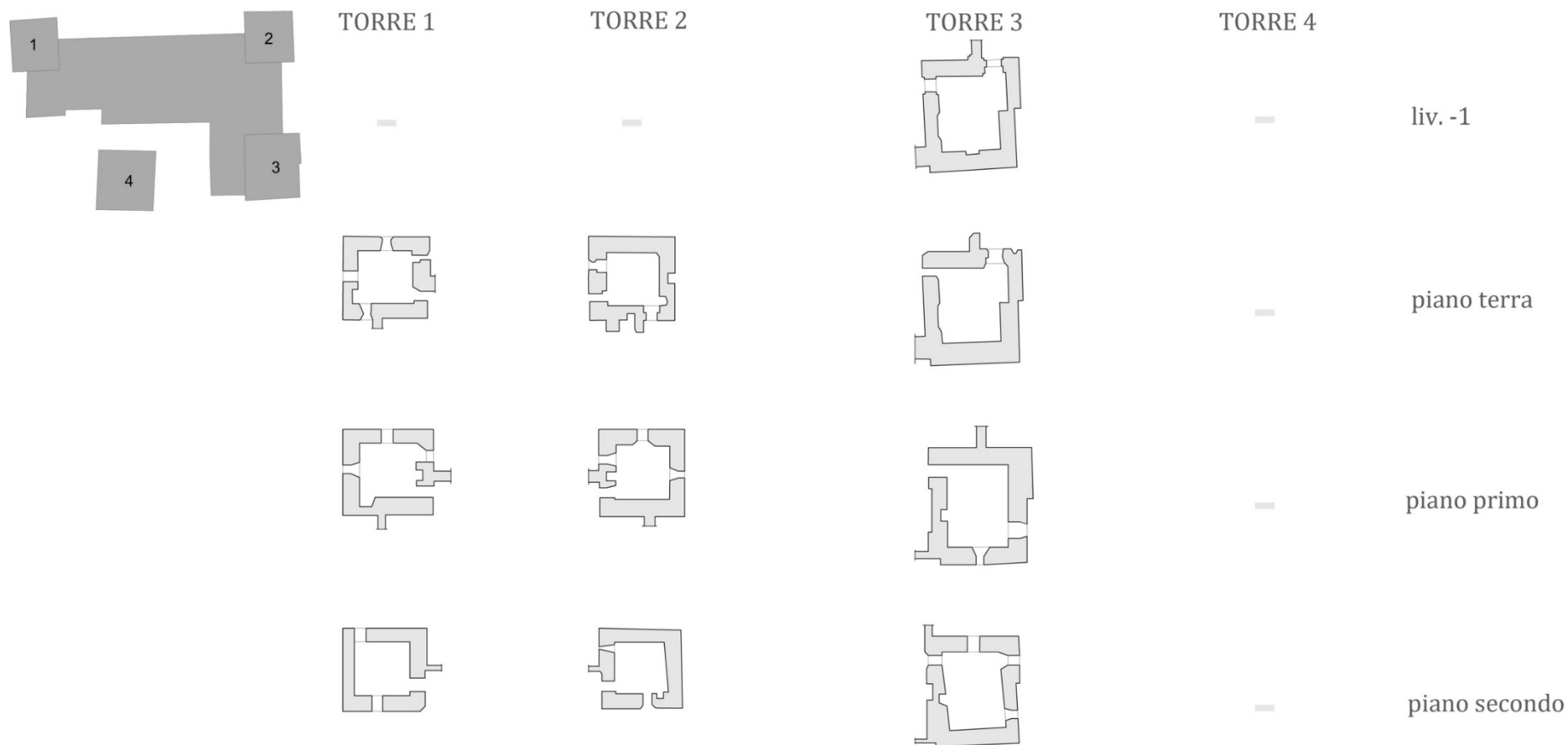


Figura 201 – Castello delle Rocche di Finale Emilia. Sezioni orizzontali delle torri, effettuate a varie altezze. Le torri 1 – 2, in corrispondenza del livello -1, e la torre 4, in corrispondenza di tutti i livelli, sono state rappresentate esclusivamente attraverso i propri ingombri. Pertanto gli elaborati grafici non hanno fornito notizie utili per indagare gli spessori murari.

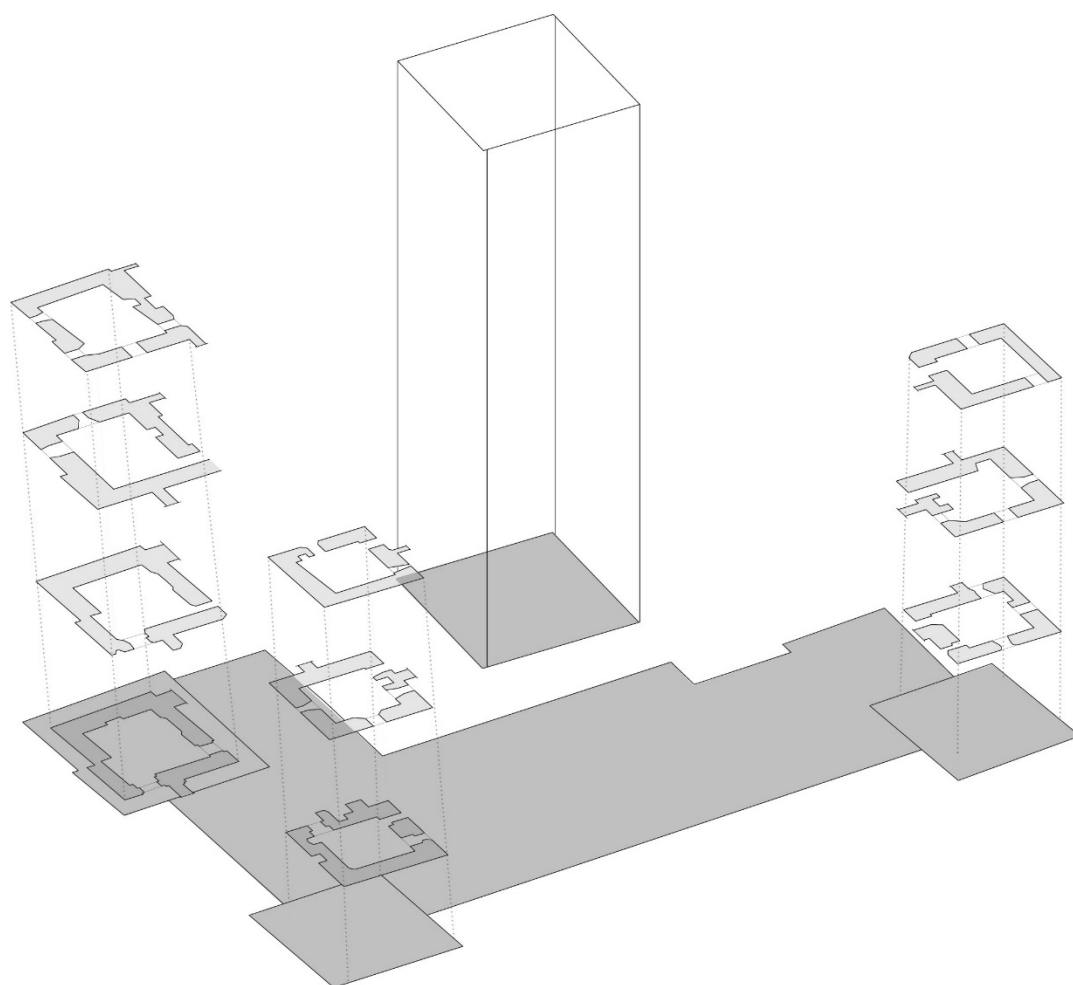


Figura 202 – Castello delle Rocche di Finale Emilia. Modello assonometrico.

VIGNOLA

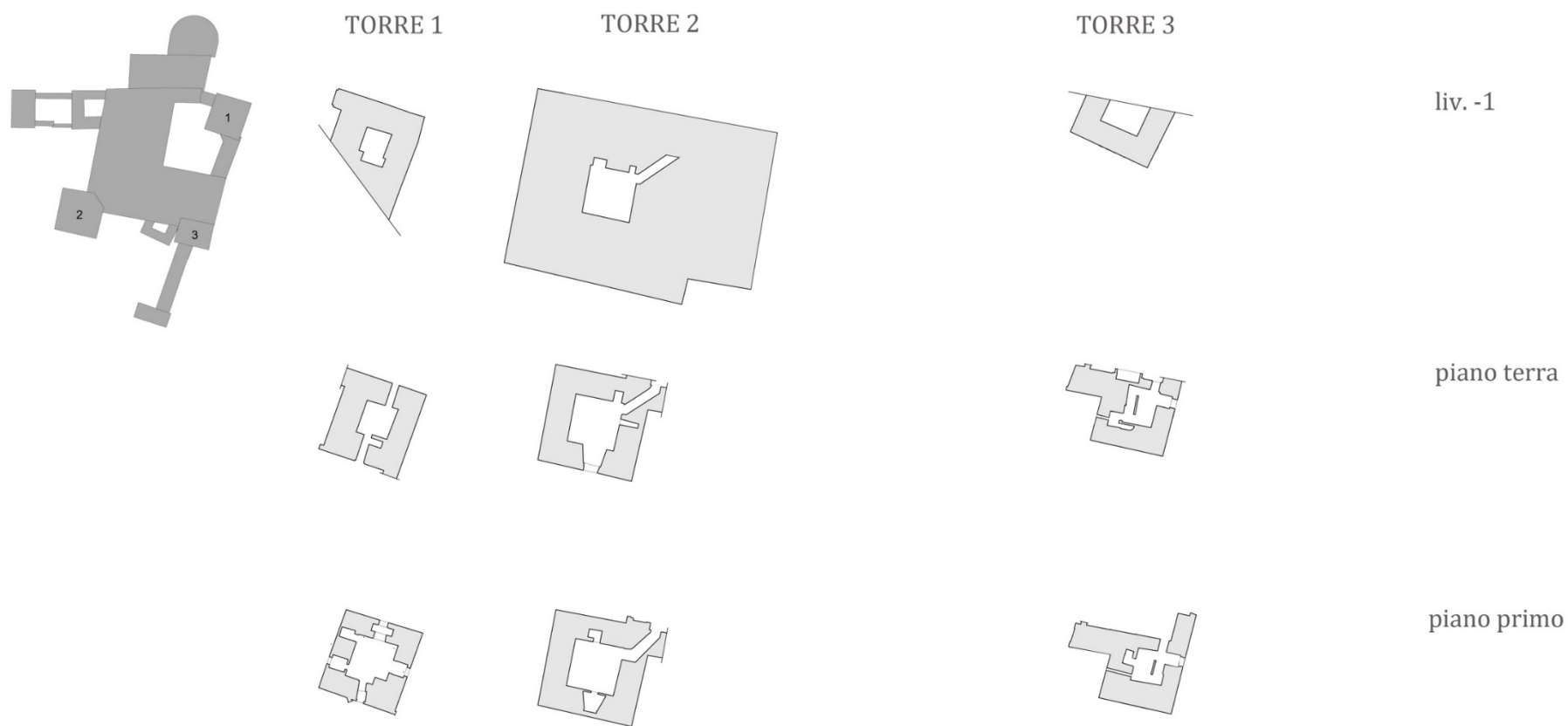


Figura 203 – Rocca di Vignola. Sezioni orizzontali delle torri, effettuate a varie altezze (parte I).

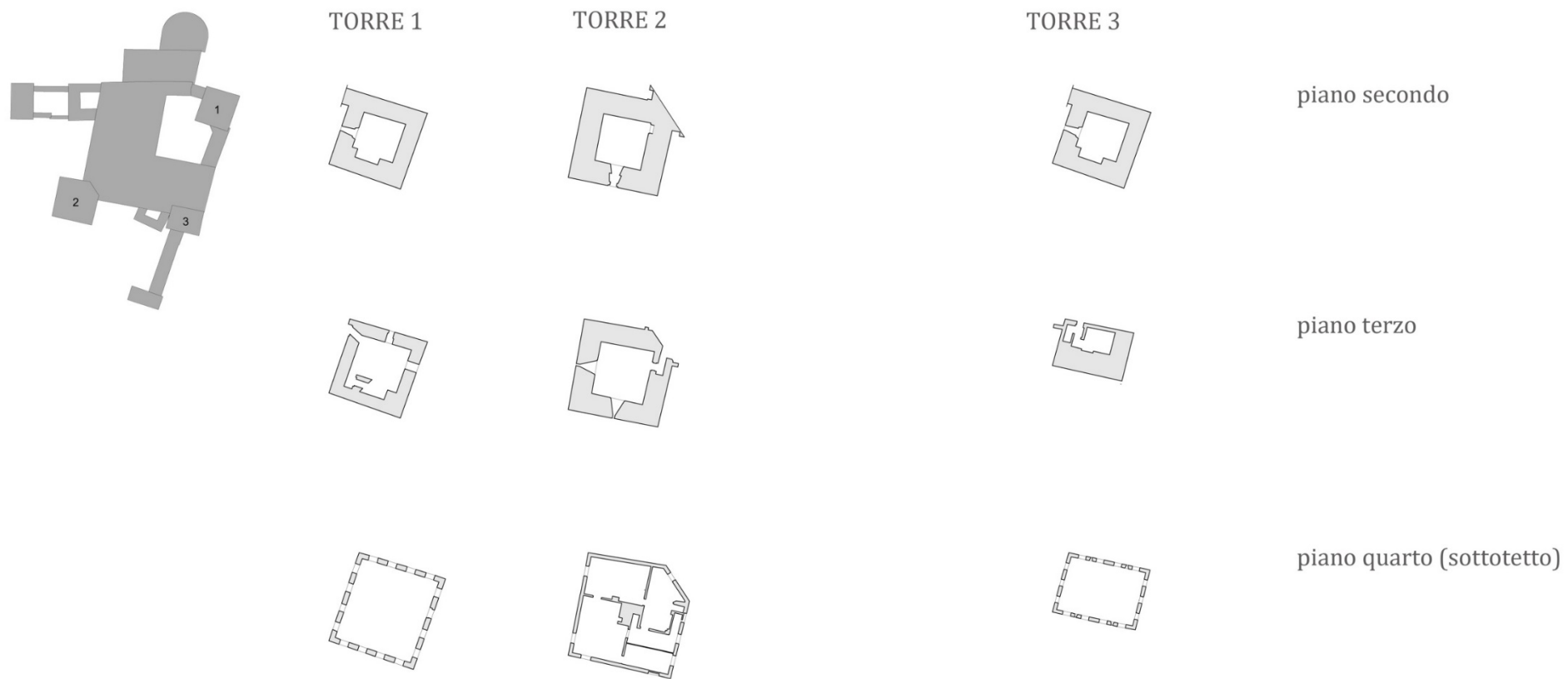


Figura 204 - Rocca di Vignola. Sezioni orizzontali delle torri, effettuate a varie altezze (parte II).

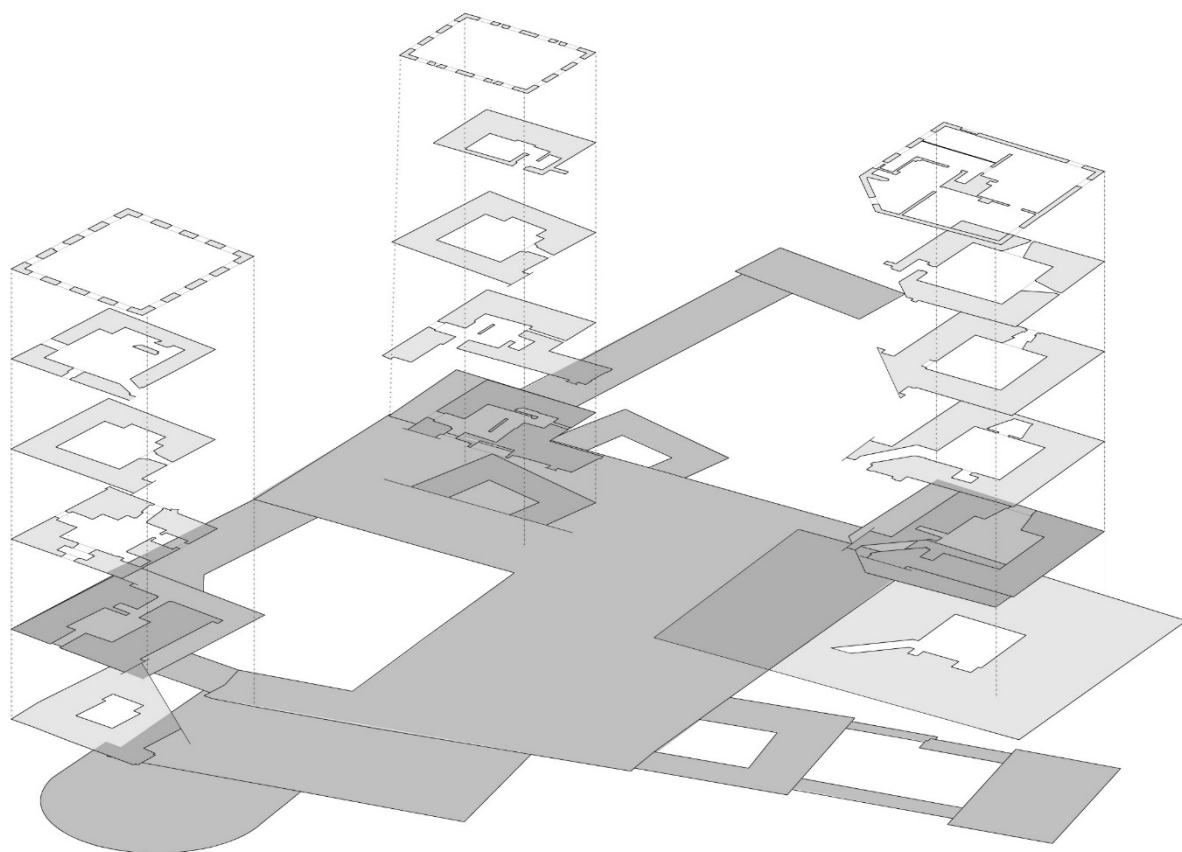


Figura 205 – Rocca di Vignola, modello assonometrico.

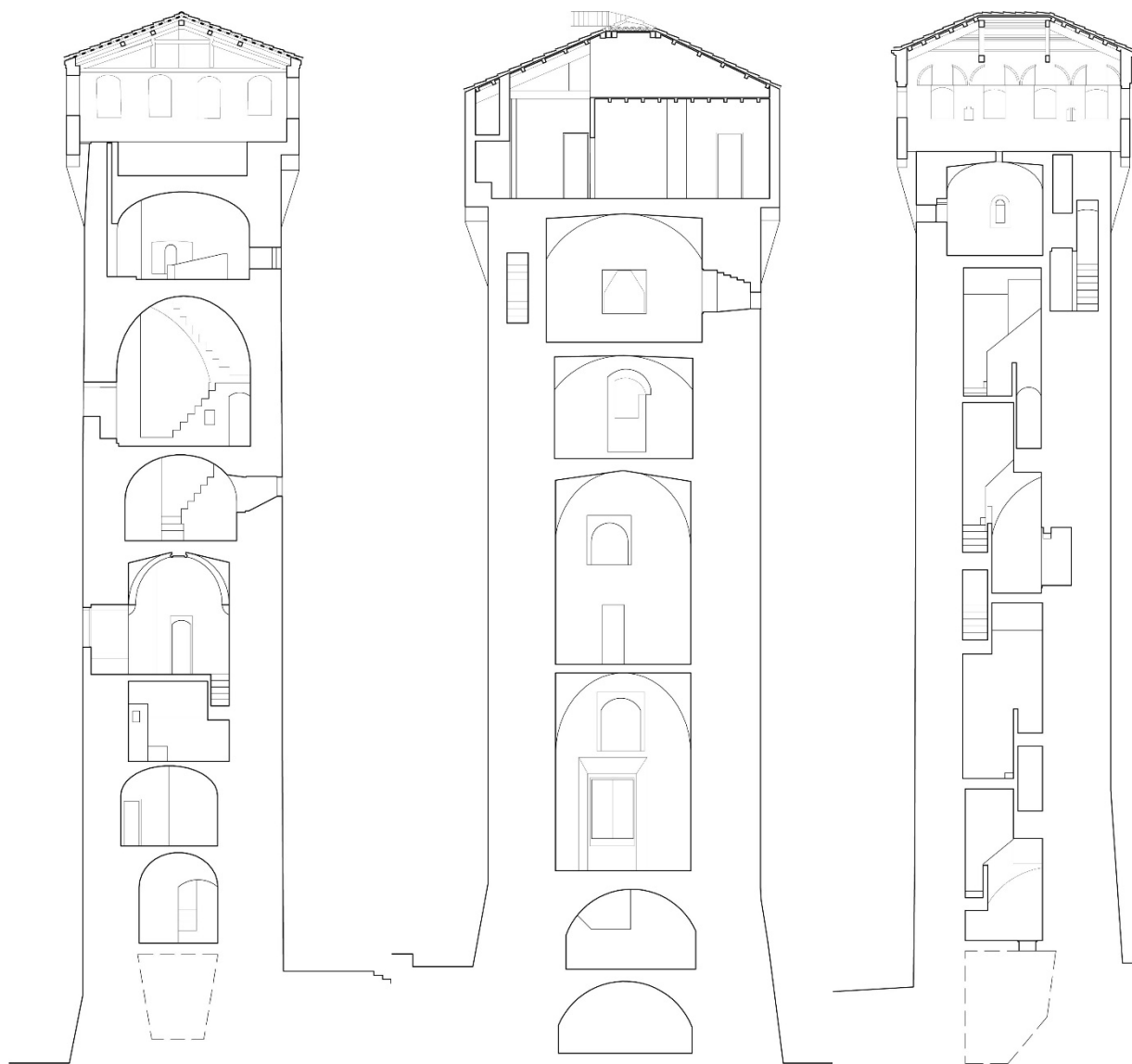
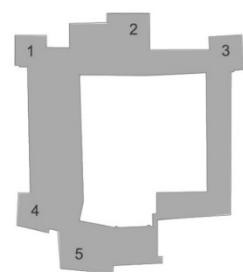


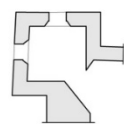
Figura 206 – Rocca di Vignola. Rielaborazione rilievo geometrico. Da sinistra verso destra sezioni cielo-terra di:
TORRE 1 – TORRE 2 – TORRE 3.

CENTO

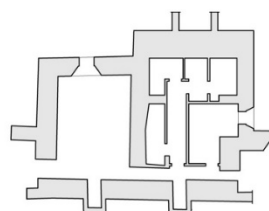


livello -1

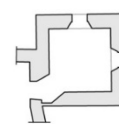
TORRE 1



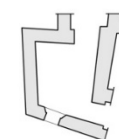
TORRE 2



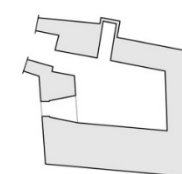
TORRE 3



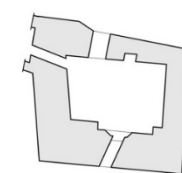
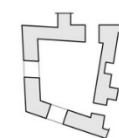
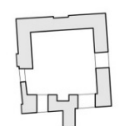
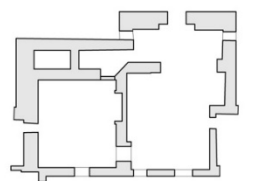
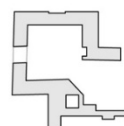
TORRE 4



TORRE 5



piano terra



piano primo

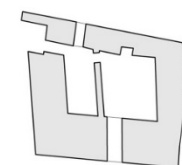
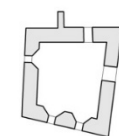
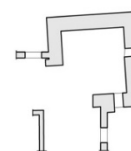
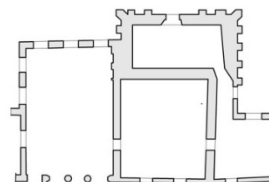
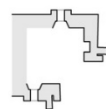


Figura 207 – Rocca di Cento. Sezioni orizzontali delle torri, effettuate a varie altezze.

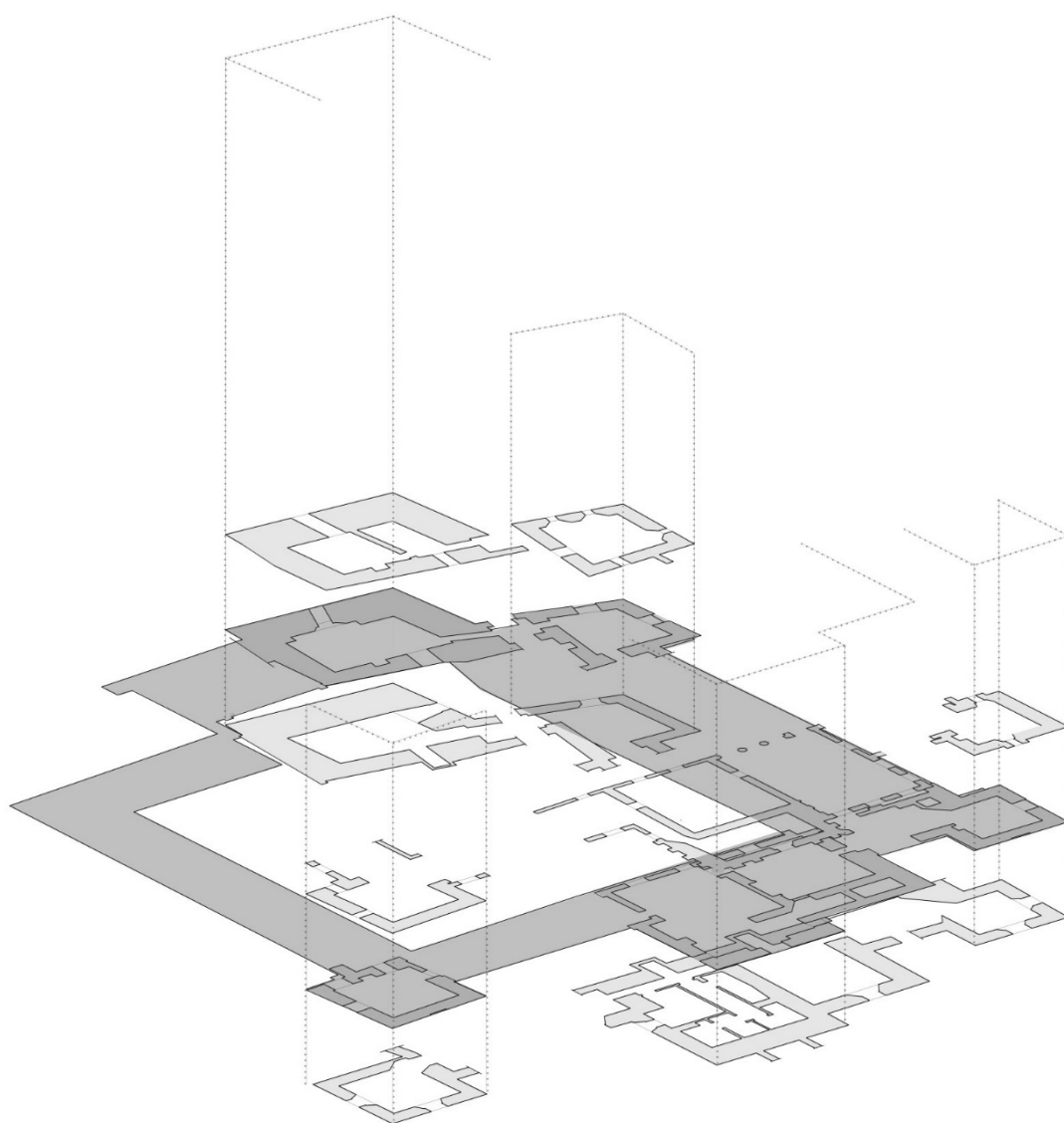


Figura 208 – Rocca di Cento, modello assonometrico.

SAN FELICE SUL PANARO

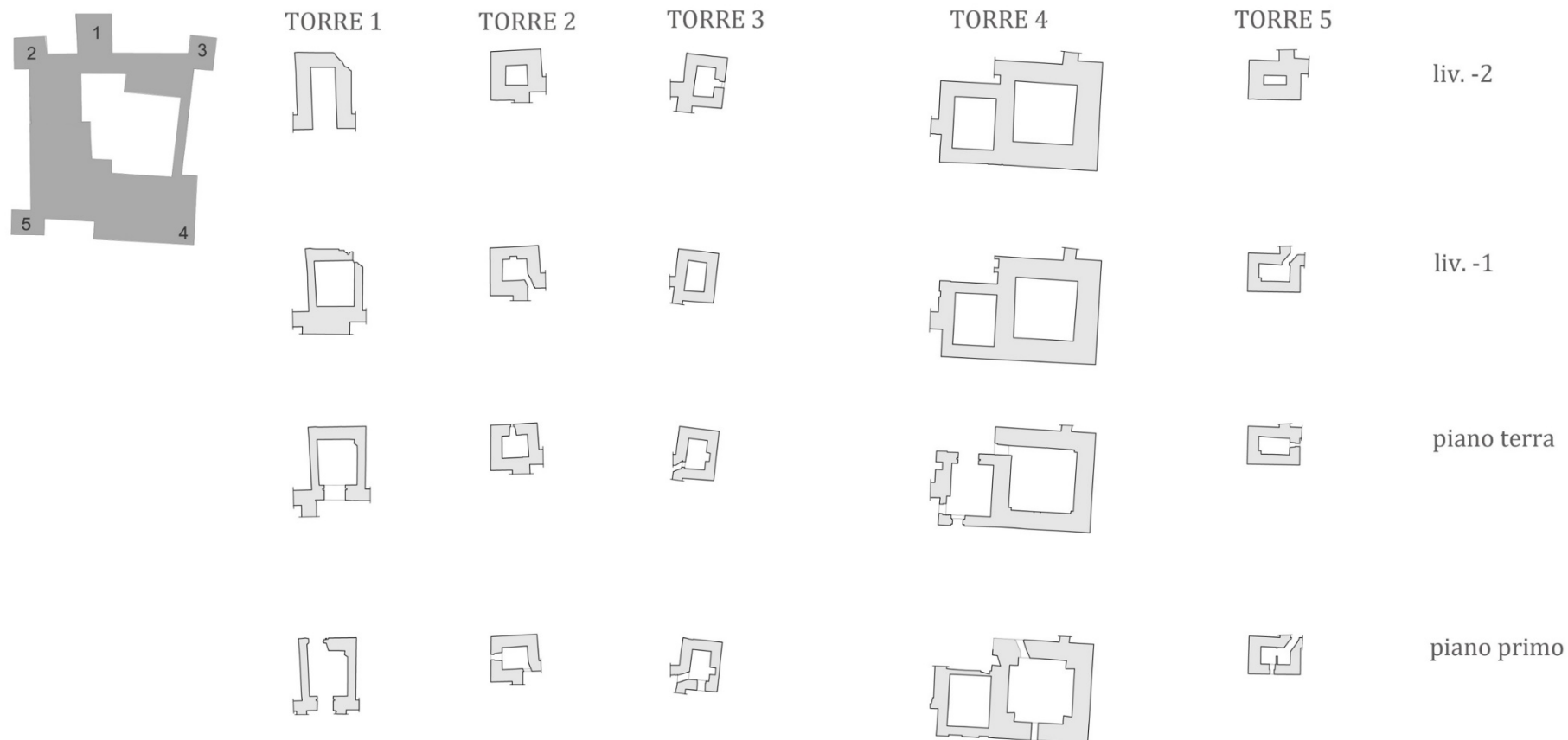


Figura 209 - Rocca di San Felice sul Panaro. Sezioni orizzontali delle torri, effettuate a varie altezze (parte I).

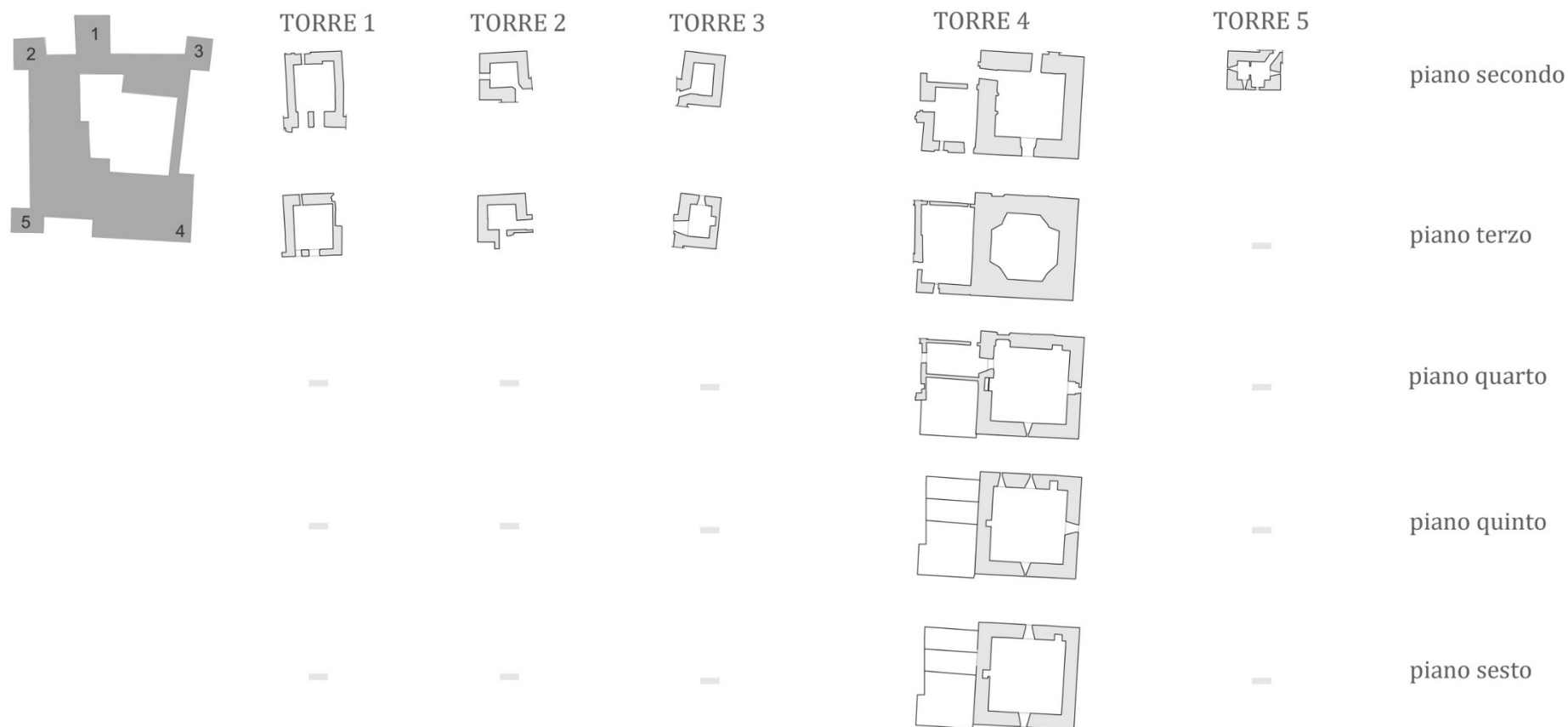


Figura 210 - Rocca di San Felice sul Panaro. Sezioni orizzontali delle torri, effettuate a varie altezze (parte II). Sezioni orizzontali delle torri, effettuate a varie altezze. Le torri 1 – 2 - 3, in corrispondenza dei piani 4 – 5 - 6, e la torre 5, in corrispondenza dei piani 3 – 4 – 5 - 6, non sono state rappresentate a causa dei crolli provocati dal sisma. Pertanto gli elaborati grafici non hanno fornito notizie utili per indagare gli spessori murari.

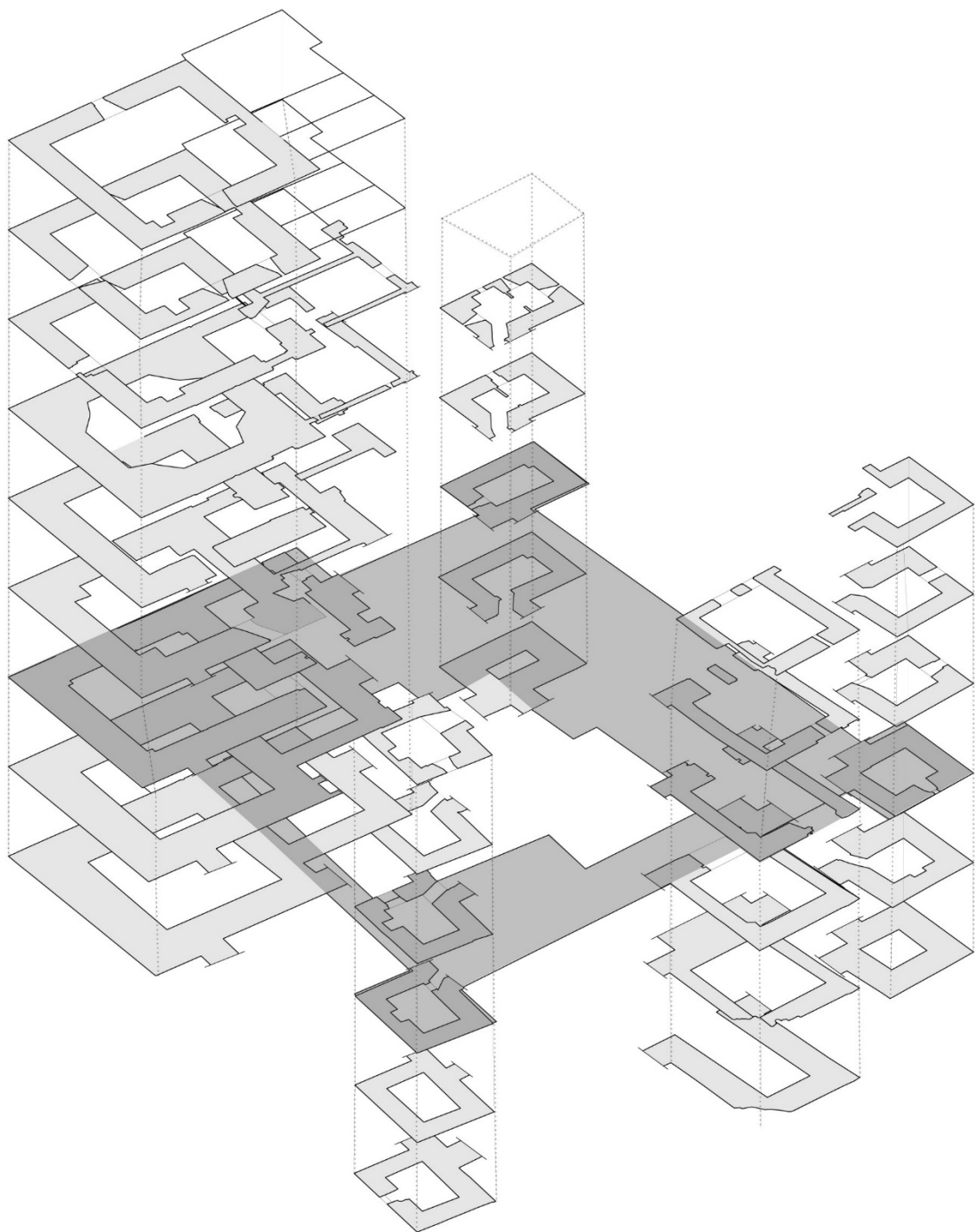


Figura 211 - Rocca di San Felice sul Panaro, modello assonometrico.

REGGIOLO

Gli elaborati grafici reperiti non comprendono sezioni. Gli eventuali spessori sono rilevabili soltanto dalle piante del piano terra e del piano primo. Anche queste ultime risultano poco affidabili in quanto tutte perfettamente a piombo.

Alla luce di tutta la documentazione reperita, relativamente alla Rocca di Reggiolo, non è stato quindi possibile studiare gli spessori murari dei principali elementi architettonici.

PARAMETRO n. 5: COEFFICIENTE DI PIENEZZA

Definito come rapporto tra vuoti e pieni. I primi sono stati quantificati considerando esclusivamente le aperture strutturali, ovvero porte e finestre e nessun'altro foro avente origine e\o funzione diversa da quella indicata. I secondi invece sono stati ricavati dalla superficie occupata dai prospetti delle Rocche prese in esame.

I pieni e i vuoti sono stati rappresentati evidenziando nei prospetti le bucatore presenti, come evincibile dagli elaborati seguenti (figg. 212-213).

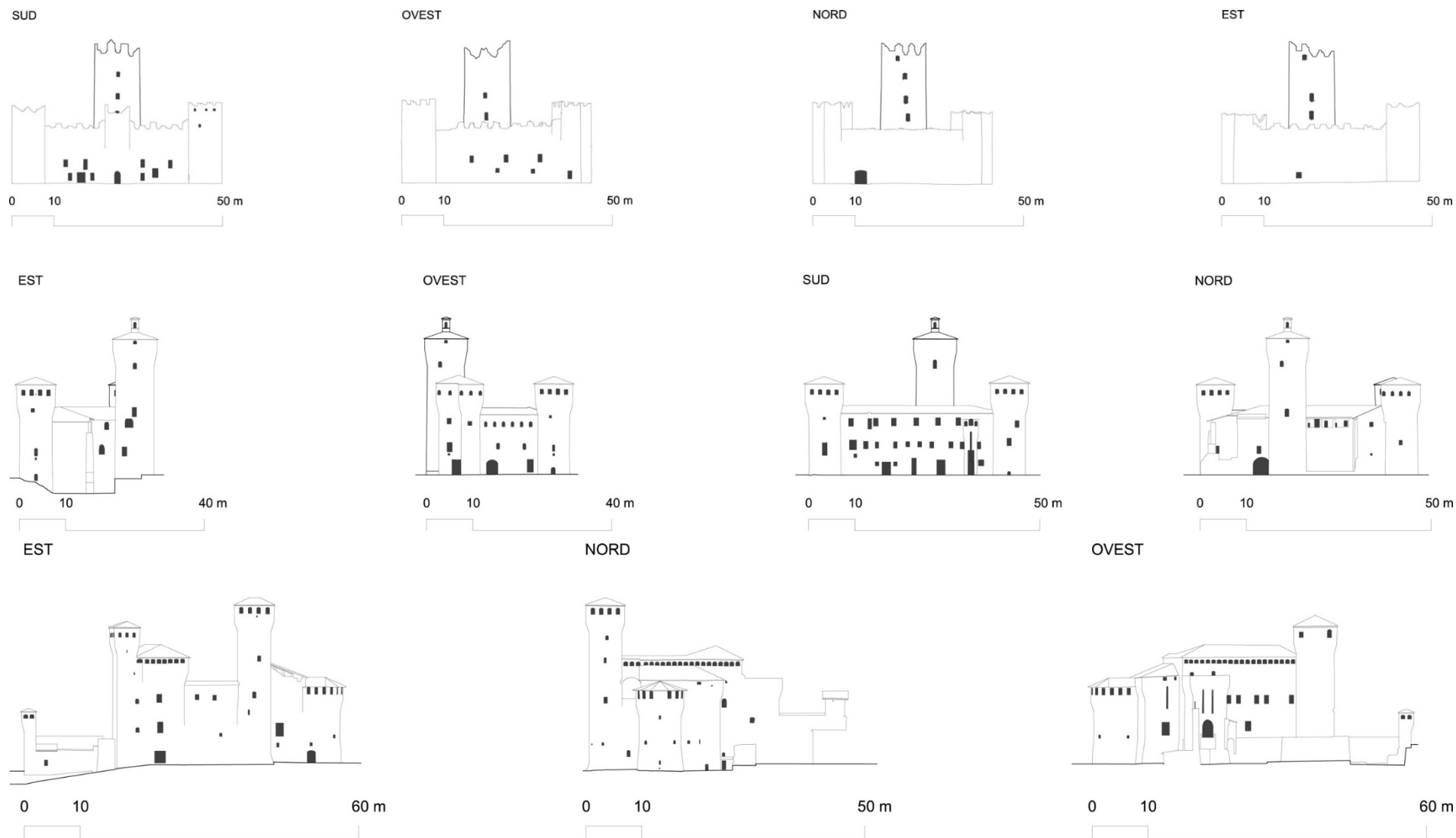


Figura 212 - Rilievo dei prospetti relativi le Rocche di Reggiolo, di Finale Emilia e di Vignola (dall'alto verso il basso), con distinzione tra pieni e vuoti.

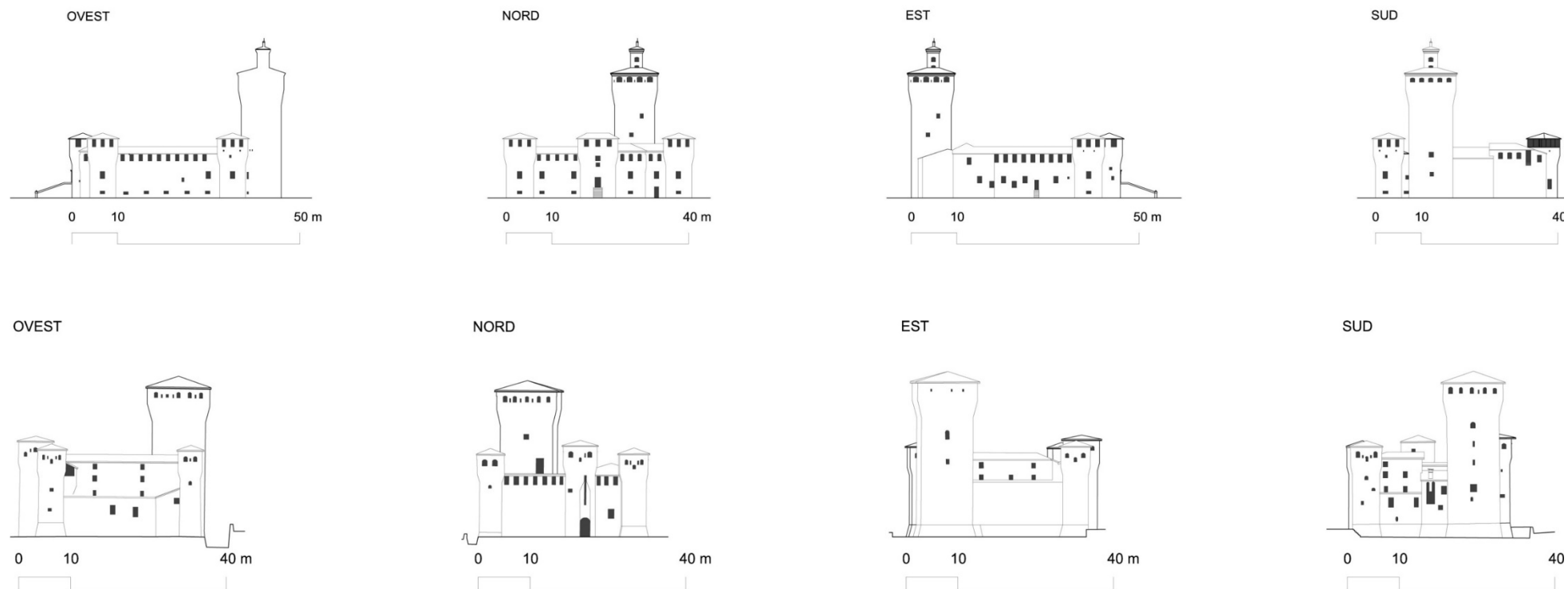


Figura 213 - Rilievo dei prospetti relativi le Rocche di Cento e San Felice sul Panaro (dall'alto verso il basso), con distinzione tra pieni e vuoti.

Definite le superfici da misurare, si è proceduto a quantificare il parametro n. 5. Le tabelle sotto riportate (fig. 214) evidenziano per ciascun caso studio la superficie occupata dai prospetti, le percentuali di vuoti e di pieni ed infine la quantificazione del rapporto tra questi ultimi.

ROCCA DI REGGIOLO				
	TOTALE PROSPETTI	% VUOTI	% PIENI	VUOTI/PIENI
NORD	865 mq	2%	98%	0,02
SUD	972 mq	3%	97%	0,03
OVEST	920 mq	1%	99%	0,01
EST	896 mq	1%	99%	0,01
TOTALE	3.653 mq	2%	98%	0,02

CASTELLO DELLE ROCCHIE				
	TOTALE PROSPETTI	% VUOTI	% PIENI	VUOTI/PIENI
NORD	934 mq	3%	97%	0,03
SUD	930 mq	7%	93%	0,08
OVEST	659 mq	6%	94%	0,06
EST	699 mq	3%	97%	0,03
TOTALE	3.222 mq	5%	95%	0,05

ROCCA DI VIGNOLA				
	TOTALE PROSPETTI	% VUOTI	% PIENI	VUOTI/PIENI
NORD	830 mq	3%	97%	0,03
OVEST	938 mq	4%	96%	0,04
EST	943 mq	4%	96%	0,04
TOTALE	2.711 mq	4%	96%	0,04

ROCCA DI CENTO				
	TOTALE PROSPETTI	% VUOTI	% PIENI	VUOTI/PIENI
NORD	694 mq	8%	92%	0,08
SUD	676 mq	6%	94%	0,06
OVEST	754 mq	5%	95%	0,05
EST	741 mq	6%	94%	0,07
TOTALE	2.865 mq	6%	94%	0,06

ROCCA ESTENSE DI SAN FELICE S/P				
	TOTALE PROSPETTI	% VUOTI	% PIENI	VUOTI/PIENI
NORD	678 mq	6%	94%	0,06
SUD	696 mq	4%	96%	0,05
OVEST	744 mq	3%	97%	0,03
EST	783 mq	1%	99%	0,01
TOTALE	2.901 mq	3%	97%	0,04

Figura 214 - Pieni e vuoti relativi le i casi di studio analizzati.

In tutti i casi di studio analizzati, le *torri* possiedono meno bucatore rispetto gli edifici. I vuoti di pertinenza delle torri sono presenti nella minima misura indispensabile a garantirne l'utilizzo e la manutenzione.

Nei casi di studio analizzati, la percentuale totale di vuoti varia dal 2% al 6% e conseguentemente i pieni occupano dal 94% al 98% dei prospetti analizzati.

Il rapporto tra il totale dei vuoti e quello dei pieni è compreso tra lo 0,02 e lo 0,06.

BIBLIOGRAFIA RAGIONATA

TRATTATI

CAVALIERI SAN-BERTOLO N., *Istituzioni di Architettura Statica e idraulica*, Tipografia Cardinali e Frullio, Bologna 1826-1827.

DI GIORGIO MARTINI F., *Trattato di architettura civile e militare*, Tipografia Chirio e Mina, Torino 1841.

MILANI G. B., *L'ossatura murale*, Crudo, Torino 1920-1922.

VIOLLET LE DUC E., *Dictionnaire Raisonné de l'Architecture Française du XI au XVI siècle*, V, De Nobèle, Paris 1967.

PERUZZI B., PARRONCHI A. (a cura di), *Trattato di architettura militare*, Gonnelli, Firenze 1982.

VIOLLET LE DUC E., *L'architettura ragionata: estratti dal Dizionario*, Jaca Book, Milano 1982.

VITRUVIO POLLIONE M., PIERRE GROS (a cura di), *De Architectura*, Einaudi, Torino 1997.

ALBERTI L. B., GIONTELLA V. (a cura di), *L'arte di costruire*, Bollati Boringhieri, Torino 2010.

TESTI DI TAGLIO STORICO ED ARCHITETTONICO EDIFICI FORTIFICATI

CARBONA G., *Dizionario militare*, Tipografia Vercellino, Torino 1863.

SANGALLO A., SANMICHELI M., *Relazione sullo stato delle rocche in Romagna*, Tipografia Umberto Allegretti, Milano 1902.

ANGELUCCI A., *Documenti inediti per una storia delle armi da fuoco italiane*, Tipografia G. Cassone, Torino 1908.

ROCCHI E., *Le fonti storiche dell'architettura militare*, Officina Poligrafica Editrice, Roma 1908.

MAGGIOROTTI A., *Gli architetti militari*, La Libreria dello Stato, Roma 1933.

TOY S., *A history of fortification from 3000 BC to AD 1700*, William Heinemann, London 1955.

REID R., *La storia delle armi da fuoco*, La Giostra, Milano 1960.

SELLMAN R. R., *Castles and fortresses*, Methuen, London 1962.

CASSI RAMELLI A., *Dalle caverne ai rifugi blindati*, Nuova Accademia Editrice, Milano 1964.

BASCAPÈ G. C., PEROGALLI C., *Torri e castelli di Valtellina e Valchiavenna*, Edizioni Banca Piccolo Credito Valtellinese, Sondrio 1966.

WARNER P., *Sieges of the Middle Ages*, Paperback, Londra 1968.

CASSI RAMELLI A., *Castelli e fortificazioni*, Touring Club Italiano, Milano 1974.

DUFFY C., *Fire & Stone - The Science of Fortress Warfare 1660-1860*, Newton Abbot, Londra 1975.

EBHARDT B., *Der Wehrbau Europas im Mittelalter*, Wolfgang Weidlich, Frankfurt am Main 1977.

TADDEI D., *L'opera di Giuliano da Sangallo nella fortezza di Sansepolcro e l'architettura militare nel periodo di transito*, Biblioteca Comunale di Sansepolcro, Sansepolcro 1977.

MUSCIARELLI L., *Dizionario delle armi*, Mondadori, Milano 1978.

OMAN C. W. C., *Castles - An illustrated guide to 80 castles of England and Wales*, Beekman House, New York, 1978.

BAZZI S., ICHINO M. P., PEROGALLI C., *Castelli italiani: con un repertorio di oltre 4000 architetture fortificate*, Bibliografica, Milano 1979.

CACIAGLI G., *Il castello in Italia*, Giorgio Gambi Editore, Firenze 1979.

REID W., *La scienza delle armi dall'età della pietra ai giorni nostri*, Mursia, Milano 1979.

FRY P. S., *Castles*, Neton Abbot, Londra 1980.

PEROGALLI C., *Rocche e forti medicei*, Rusconi Immagini, Milano 1980.

HOGG I., *Storia delle fortificazioni*, Istituto Geografico de Agostini, Novara 1982.

WISE T., *Forts and castles*, Almark, London 1982.

CHÂTELAIN A., *Chateaux forts images de pierre des guerres médiévales*, Rempart, Paris 1983.

LE HALLÉ G., *Précis de la fortification*, PCV, Paris 1983.

MALLET M., *Signori e mercenari -La guerra nell'Italia del Rinascimento*, Il Mulino, Bologna 1983.

TABARELLI G. M., *Castelli, rocche e mura d'Italia*, Bramante, Busto Arsizio 1983.

SETTIA A.A., *Castelli e villaggi nell'Italia padana*, Liguori Editore, Napoli 1984.

BELTRAMI L., *Soncino e torre Pallavicina, memoria di storia e d'arte*, Hoepli, Milano 1985.

CONTAMINE P., *La guerra nel Medioevo*, Il Mulino, Bologna 1986.

ZAMBARBIERI T., *Castelli e Castellani Visconti - per la storia delle istituzioni e dell'amministrazione ducali nella prima metà del XV secolo*, Cappelli, Bologna 1988.

FONTANA G. F., *Difesa ed offesa nelle fortificazioni romagnole - La Rocca di Forlimpopoli*, Comune di Forlimpopoli, Forlimpopoli 1990.

KENYON J. R., *Medieval Fortifications*, Leicester University Press, Leicester 1990.

SETTIA A.A., *Chiese, strade e fortezze nell'Italia Medievale*, Herdere editrice e libreria, Roma 1991.

- BARKER P., HIGHAM R., *Timber Castles*, B. T. Batsford, Londra 1992.
- BRADBURY J., *The medieval siege*, The Boydell Press, Woodbridge 1992.
- MESQUI J., *Châteaux et enceintes de la France Médiévale*, Picard, Paris 1993.
- SANCHA S., *The Castle Story*, HarperCollins, Londra 1993.
- SETTIA A. A., *Comuni in guerra - Armi ed eserciti nell'Italia delle città*, CLUEB, Bologna 1993.
- DUCHET-SUCHAUX G., PASTOREAU M., *Les châteaux forts*, Hachette, Paris 1994.
- KENNEDY H., *CRUSADER CASTLES*, *Cambridge University Press*, Cambridge 1994.
- MACCI L., ORGARA V., *Architettura e civiltà delle torri*, Edifir, Firenze 1994.
- PALLONI D., *I castelli*, P.G. Pazzini Stampatore Editore, Verucchio 1994.
- VIGANÒ M. (a cura di), *Architetti e ingegneri militari italiani all'estero dal XV al XVIII secolo*, Istituto Italiano dei Castelli, Roma 1994.
- MAURO M., *Rocche e bombarde fra Marche e Romagna nel XV secolo*, Adriapress, Ravenna 1995.
- MESQUI J., *Les châteaux forts de la guerre à la paix*, Gallimard, Paris 1995.
- PEPPER S., ADAMS N., *Armi da fuoco e fortificazioni*, Nuova Immagine, Siena 1995.
- TOUBERT P., *Dalla terra ai castelli, paesaggio, agricoltura e poteri nell'Italia medievale*, Einaudi, Torino 1995.
- COPPOLA G., PALUMBO A., *Dizionario terminologico dell'architettura militare*, C&P Editori, Napoli 1996.
- FAUCHERRE N., *Places Fortes Bastion du pouvoir*, Rempart, Paris 1996.
- LUISI R., *Scudi di pietra*, Editori Laterza, Bari 1996.
- MESQUI J., *Châteaux forts et fortification en France*, Flammarion, Paris 1997.

KAUFMANN J. E., KAUFMANN H. W., *The medieval fortress*, Paperback, London 2001.

CREIGHTON O., HIGHAM R., *Medieval Castles*, Shire Publications, Princes Risborough 2003.

TADDEI D., NALDINI M., *Torri Rocche Castelli Fortezze*, Polistampa, Firenze 2003.

WILKINS A., *Roman Artillery*, Shire Archaeology, Haverfordwest 2003.

TADDEI D. (a cura di), *Le parole del Castello*, Edizioni PLAN, Loreto 2004.

BOAS A.J., *Archaeology of the military orders. A survey of the urban centres, rural settlements and castles of the military orders in the Latin East (c.1120-1291)*, Routledge, London 2006.

UGOLINI A., *Il restauro delle mura del castello di San Clemente*, Alinea Editore, Firenze 2009.

VIOLLET LE DUC E., *Castels & Warfare in the middle ages*, Dover Publications, New York 2014.

STORIOGRAFIA CASI DI STUDIO

TIRABOSCHI G., *Memorie storiche modenesi*, Società Typografica, Modena 1793.

CAMPORI G., *Gli architetti e gli ingegneri civili e militari degli Estensi dal secolo XIII al XVI*, Vincenzi, Modena 1882.

CESARI C., *Castelli del Modenese*, Unione Tipo-Litografica Modenese, Modena 1906.

MANTOVI F., *Guida alle rocche ed ai castelli della provincia di Modena*, Cooptip, Modena 1969.

GIUSEPPE CAMPORI, *Artisti degli Estensi Orologieri, architetti e ingegneri*, Forni, Bologna 1970.

PEROGALLI C., *Castelli e Rocche di Emilia e Romagna*, Seregorlich, Milano 1972.

PROMIS C., *Gli ingegneri e gli scrittori militari bolognesi del XV e XVI secolo*, Forni, Bologna 1975.

AA.VV., *Padania: cultura e territorio mostra in costruzione*, Tecnostampa, Reggio Emilia 1978.

MANENTI VALLI F., *Architettura di castelli nell'Appennino reggiano*, Aedes Muratoriana, Modena 1987.

MURATORI L. A., *Delle antichità estensi ed italiane*, Cassa di Risparmio di Vignola, Vignola, 1987.

ADANI G. (a cura di), *Rocche, fortificazioni, castelli in Emilia Romagna e Marche*, Edizione Amilcare Pizzi, Cinisello Balsamo 1988.

BARRICCHI W., MASSARETTI P. G., *Insedimento storico e beni culturali alto ferrarese*, Tecnostampa, Reggio Emilia 1991.

MAURO M. (a cura di), *Rocche e bombarde fra Marche e Romagna nel 15. Secolo*, Adriapress, Monreale 1995.

BELLEI S., ROVATTI E., *Castelli modenese della pianura*, Siaca Arti Grafiche, Cento 2000.

BELLOI P., COLOMBINI E., *Castelli della provincia di Modena*, Elis Colombini Editore, Modena 2001.

MANENTI VALLI F., *Canossa nel sistema fortificato matildico*, Diabasis, Reggio Emilia 2001.

BONACINI P., CERAMI D. (a cura di), *Rocche e castelli lungo il confine tra Bologna e Modena*, Edizioni Fondazione di Vignola, Vignola 2005.

GAVOLIOSO R. (a cura di), *Terreferme. Emilia 2012*, Skira Editore, Milano 2014.

Rocca di Reggiolo

PARALUPI R., *Storia di Reggiolo nell'Emilia (781-1920)*, Edizioni Atesa, Reggio Emilia 1925.

CANOVA F., *Reggiolo. La storia. I parte*, Amministrazione Comunale di Reggiolo, Reggiolo 1980.

CANOVA F., *Reggiolo. La storia. II parte*, Amministrazione Comunale di Reggiolo, Reggiolo 1980.

Rocca di Vignola

SOLI B., *Quadri di storia Vignolese*, Arti Grafiche Tamari, Bologna 1933.

AA.VV., *Vignola ritrova la sua Rocca*, Cassa Risparmio Vignola, Vignola 1970.

CRESPPELLANI A., *Memorie storiche vignolesi*, Publigrat Modena, Modena 1974.

SCARPARI G., *Il restauro del Castello di Vignola*, G. Martino Editore, Reggio Calabria 1994.

ROMANI G., VICINI M., *La Rocca di Vignola*, Fondazione di Vignola, Vignola 2001.

Rocca di Cento

AA.VV., *Panoramica di storia centese*, Distretto Scolastico, Cento 1986.

SAMARITANI A., *La Rocca nella storia di Cento dalle origini al XVIII secolo*, Comune di Cento, Cento 1995.

LIBRENTI M. (a cura di), *La Rocca di Cento: indagini storiche e archeologiche*, All'Insegna del Giglio, Firenze 2006.

Rocca di San Felice sul Panaro

COSTA GIANI P., *Memorie storiche di San Felice sul Panaro*, Banca Popolare di San Felice sul Panaro, Modena 1978.

CALZOLARI M., CAMPAGNOLI P., FRISON C. (a cura di), *La rocca estense di San Felice sul Panaro*, Gruppo Bassa Modenese, San Felice sul Panaro 1994.

GULINELLI V., *Il Castello di San Felice sul Panaro e le fosse del castello: da ricerche d'archivio, notizie urbanistiche, storiche e di cronaca*, LI.PE., San Giovanni in Persiceto 1994.

POLETTI M. (a cura di), *Le cartoline di San Felice sul Panaro*, Gruppo Studi Bassa Modenese, San Felice sul Panaro 2005.

BONACINI P., CALZOLARI M. (a cura di), *Le leggi della comunità*, Gruppo Studi Bassa Modenese, San Felice sul Panaro 2008.

Castello Estense di Finale Emilia

GIGLI P., *La Rocca Estense di Finale Emilia*, C.A.R.C., Finale Emilia 1976.

ANGELO S., BERTUZZI G., *Finale Emilia: popolo e castello*, Edizione Aedes Muratoriana, Modena 1985.

CALZOLARI M., RIGHINI M., TUSINI G. L., *Le rocche di Finale in età estense*, Baraldini, Finale Emilia 2009.

RIGHINI M., *Per la mia Fé: castelli e arte militare in area estense tra Medioevo e Rinascimento: atti della giornata di studio, sabato 26 Settembre 2009, Finale Emilia, Palazzo Comunale*, Gruppo Studi Bassa Modenese, San Felice sul Panaro 2010.

MATERIALI E TECNICHE COSTRUTTIVE

RODOLICO F., *Le pietre delle città d'Italia*, Le Monnier, Firenze 1953.

LUGLI G., *La tecnica edilizia romana con particolare riguardo Roma e Lazio*, Bardi Editore, Roma 1957.

SINGER C. (a cura di), *Storia della Tecnologia*, Boringhieri, Torino 1961.

DAVEY N., *Storia del materiale da costruzione*, Edizioni Il Saggiatore, Milano 1965.

CENTRO ITALIANO DI STUDI SULL'ALTO MEDIOEVO, *Artigianato e tecnica nella società dell'alto medioevo occidentale*, CINI, Spoleto 1971.

AA. VV., *Il mattone di Venezia. Stato delle conoscenze tecnico-scientifiche*, Fondazione Giorgio Cini, Venezia 1979.

MC WHIRR A., *Roman Brick and Tile. Studies in Manufacture, Distribution and Use in the Western Empire*, B.A.R. 68, Oxford 1979.

ADAM J., *L'arte di costruire presso i Romani - Materiali e tecniche*, Longanesi, Milano 1984.

BROGIOLO G. P., *Archeologia dell'edilizia storica. Documenti e metodi*, New Press, Milano 1988.

ADAM J.P., *L'arte di costruire presso i Romani*, Loganesi, Milano 1989.

DONATI P., *Legno pietra e terra. L'arte del costruire*, Giunti Editore, Firenze 1990.

POLATI I., SACCO G., *Scienza dei materiali*, Juvenilia, Bergamo 1990.

AA.VV., *Scienza e Beni Culturali - Le superfici dell'Architettura: il cotto. Caratterizzazioni e trattamenti*, All'Insegna del Giglio, Padova 1992.

GHISLANZONI P., PITTALUGA D., *Le superfici dell'architettura: il cotto, caratterizzazione e trattamenti, atti del convegno di studi*, Libreria Progetto, Padova 1992.

MENICALI U., *I materiali dell'edilizia storica. Tecnologia e impiego dei materiali tradizionali*, Nis, Roma 1992.

BERTUZZI G. (a cura di), *L'arte muraria a Modena. Storia di uomini e di pietre dall'età romana ai primi del Novecento*, Edizioni Aedes Muratoriana, Modena 1993.

BROGIOLO G. P. (a cura di), *Edilizia residenziale tra V e VIII secolo. 4° seminario sul tardoantico e l'altomedioevo in Italia centrosettentrionale*, SAP Società Archeologica S.r.l., Mantova 1994.

MANNONI T., *Archeologia delle tecniche produttive*, Escum, Genova 1994.

MANNONI T., *Caratteri costruttivi dell'edilizia storica*, Sagep-Escum, Genova 1994.

ACETO F., ANDALORO M., CASSANELLI R., FREIGANG C., HOCHKIRCHEN D., KIMPEL D., MORALEJO S., PHILIPP K. J., SANVITO P., SCHOCK-WERNER B., ZULIANI F., *Cantieri Medievali*, Jaca, Book, Milano 1995.

BREYMAN G. A., *Tetti*, Librerie Dedalo, Roma 1995.

AA.VV., *Tecniche costruttive medievali*, L'Erma di Bretschneider, Roma 1996.

BROGIOLO G. P., GELICHI S., *Nuove ricerche sui castelli alto medievali in Italia settentrionale*, All'insegna del Giglio, Sesto Fiorentino 1996.

DELLA TORRE S. (a cura di), *Storia delle tecniche murarie e tutela del costruito. Esperienze e questioni di metodo*, Guerini e Associati, Milano 1996.

DI PASQUALE S., *L'arte del costruire – tra conoscenza e scienza*, Marsilio Editori, Venezia 1996.

MANNONI T., GIANNICHEDDA E., *Archeologia della produzione*, Einaudi Editore, Torino 1996.

CALECA L., *Architettura Tecnica*, Flaccovio, Palermo 1998.

MARINO L., PIETRAMELLARA C. (a cura di), *Tecniche edili tradizionali*, Alinea Editrice, Siena 1999.

SPARACIO R., *La scienza e i tempi del costruire*, UTET Libreria, Torino 1999.

CAGNANA A., *Archeologia dei materiali da costruzione*, Editrice SAP, Mantova 2000.

MANNONI T., *Caratteri costruttivi dell'edilizia storica*, Sagep SPA, Genova 2004.

BROGIOLO G. P., POSSENTI E., *Castelli del Veneto tra archeologia e fonti scritte. Atti del Convegno (Ceneda, settembre 2003)*, Società Archeologica, SAP, Quingentole 2005.

CHIOVELLI R., *Tecniche murarie medievali. La Tuscia*, L'Erma di Bretschneider, Roma 2005.

FIORANI D., ESPOSITO D. (a cura di), *Tecniche costruttive dell'edilizia storica. Conoscere per conservare*, Viella, Città di Castello 2005.

CAIROLI GIULIANI F., *L'edilizia nell'antichità*, Carocci, Roma 2006.

GALLO CURCIO A., *Sul consolidamento degli edifici storici. Le logiche costruttive tradizionali, rivisitate nell'attualità tecnica, per un corretto intervento di consolidamento*, EPC libri, Roma 2007.

TOMASONI E., *Le volte in muratura negli edifici storici*, Aracne, Roma 2008.

FIORANI D. (a cura di), *Restauro e tecnologie in architettura*, Carocci Editore, Urbino 2009.

AA.VV., *Manuale delle murature storiche*, D.E.I. tipografia del Genio Civile, Roma 2011.

BROGIOLO G. P., CAGNANA A., *Archeologia dell'architettura. Metodi e interpretazioni*, All'insegna del Giglio, Sesto Fiorentino 2012.

BROGIOLO G. P., GENTILINI G., *Tecniche murarie e cantieri del romanico nell'Italia settentrionale. Atti del Convegno (Trento, 25-26 ottobre 2012)*, All'insegna del Giglio, Sesto Fiorentino 2014.

CONSOLIDAMENTO DEGLI EDIFICI IN MURATURA

LAMBERTI V., *La statica degli edifici*, Giuseppe Campo, Napoli, 1781.

CIGNI G., *Il consolidamento murario, tecniche di intervento*, Kappa, Roma 1978.

AA.VV., *Il restauro delle costruzioni in muratura. Atti del III congresso nazionale (Palermo 22-25 ottobre 1980)*, ASS.I.R.C.CO, Roma 1982.

BOSCARINO S., *Sul restauro dei monumenti*, Franco Angeli, Milano 1985.

GIUFFRÉ A., *La meccanica nell'Architettura*, Carocci editore, Roma 1986.

MARCONI P., *Dal piccolo al grande restauro – Colore, struttura, architettura*, Marsilio, Venezia 1988.

TORSELLO P., *La materia del restauro. Tecniche e teorie analitiche*, Marsilio Editore, Venezia 1988.

AVETA A., *Restauro architettonico e conoscenza strutturale*, Arte Tipografica, Roma 1989.

CATERINA G., *Tecnologia del recupero edilizio*, UTET, Torino 1989.

LIZZI F., *Il consolidamento del terreno e dei fabbricati. Cause dei dissesti, criteri d'intervento, casistica*, Flaccovio Editore, Palermo 1989.

LIZZI F., *Restauro statico delle costruzioni in muratura*, Flaccovio Editore, Palermo 1989.

CASIELLO S. (a cura di), *Restauro: criteri, metodi, esperienze*, Electa, Napoli 1990.

GIUFFRÉ A., *Lettura sulla meccanica delle murature*, Edizioni Kappa, Bologna 1991.

MARINO L., *Il rilievo per il restauro*, Hoepli, Milano 1991.

BOSCARINO S., PRESCIA R. (a cura di), *Il restauro di necessità*, Franco Angeli, Milano 1992.

DE SIVO B., *Il restauro degli edifici in muratura*, Dario Flaccovio, Palermo 1992.

GIOVANETTI F. (a cura di), *Manuale del recupero di Città di Castello*, Edizioni Dei Tipografia del Genio Civile, Roma 1992.

GIUFFRÈ A. (a cura di), *Sicurezza e conservazione dei centri storici. Il caso Ortigia*, Laterza, Bari 1993.

MASTRODICASA S., *Dissesti statici delle strutture edilizie*, Hoepli, Milano 1993.

CARBONARA G., *Trattato di restauro architettonico*, voll. I-II-III- IV, Utet, Torino 1996.

GIUFFRÈ A., CAROCCI C., *Codice di pratica per la sicurezza e la conservazione del centro storico di Palermo*, Laterza, Bari 1999.

CROCI G., *Conservazione e restauro strutturale dei beni architettonici*, Utet, Torino 2001.

ZEVI L. (a cura di), *Il manuale del restauro architettonico*, Mancosu Editore, Roma 2001.

FRANCESCHINI S., GERMANI L. (a cura di), *Le opere fortificate di epoca normanna, un problema di conservazione*, Alinea Editrice, Firenze 2003.

FRANCESCHINI S., GERMANI L., *Manuale Operativo per il Restauro Architettonico*, DEI Tipografia del Genio Civile, Roma 2003.

HUGES T. G. & G. N. (a cura di), *6th Int. Symp. Computer Methods in Structural Masonry*, Wiley Online Library, Roma 2003.

ROCCHI P. (a cura di), *Trattato sul consolidamento*, Mancosu, Roma 2003.

CENTRONI A. (a cura di), *Manutenzione e recupero nella città storica – Conservazione e normativa, Atti del V convegno Nazionale ARCO*, Cangemi, Roma 2004.

MUSSO S. F., *Recupero e restauro degli edifici storici. Guida pratica al rilievo e alla diagnostica*, Epc Libri, Roma 2004.

ANTONUCCI R., *Restauro e recupero degli edifici a struttura in muratura*, Maggioli Editore, Savignano sul Rubicone 2005.

MENDITTO G., *Fessurazioni nelle strutture*, Flaccovio, Palermo 2010.

CIRONE P. (a cura di), *Restauro strutturale delle murature. Manuale di riparazione e consolidamento*, Flaccovio, Palermo 2011.

PECCHENINO A., *Le volte in muratura. Analisi, modellazione e rinforzo con FRP*, Grafill, Palermo 2015.

EDIFICI IN MURATURA SOTTO SISMA

LIZZI F., *Restauro statico dei monumenti: criteri d'intervento e casistica: rafforzamento di edifici danneggiati da azioni sismiche*, Sagep, Genova 1981.

CERADINI V., GIUFFRÈ A., JACOVINI F., PUGLIANO A., ZAMPILLI M., *Centri Storici in Zona Sismica. Analisi tipologica della danneggiabilità e tecniche di intervento conservativo – Castelvetro sul Calore*, Ricerca CER – EdilStampa, Roma 1988.

GIUFFRÈ A., *Monumenti e terremoti, aspetti statici del restauro*, Multigrafica Editrice, Roma 1988.

GIUFFRÈ A., *Valutazione della vulnerabilità sismica dei monumenti antichi: metodi di verifica e tecniche di intervento*, Campanotto Editore, Udine 1988.

MARCONI P. (a cura di), *Dal piccolo al grande restauro*, Marsilio, Venezia 1988.

BALLARDINI R., CAPPELLARO M.R., MATTIUSI D., *Il restauro architettonico nella ricostruzione del Friuli - Valutazioni critiche per un consuntivo*, Arti Grafiche Friulane, Udine, 1990.

GRUPPO NAZIONALE PER LA DIFESA DAI TERREMOTI (GNDT), *Rilevamento della vulnerabilità sismica degli edifici in muratura*, Stampa Tipografia Moderna, Bologna 1993.

DOGLIONI F., MORETTI A., PETRINI V., *Le chiese e il terremoto*, Lint, Trieste 1994.

BORRI A., AVORIO A., CANGI G., *Manuale per la riabilitazione e la ricostruzione postsismica delle Regione Umbria - Roma*, Edizioni Dei Tipografia del Genio Civile, Roma 1995.

PUGI F., *Vulnerabilità sismica degli edifici in muratura*, Alinea, Firenze 1997.

GUCCIONE M., NAPPI M. R., RECCHIA A., *Patrimonio culturale e disastri. L'impatto del sisma sui beni monumentali: prospettive di prevenzione*, Gangemi, Roma 1998.

LAGOMARSINO S., *Damage survey of ancient churches: the Umbria-Marche experience, proceeding of the International Workshop on Measures of seismic damage to masonry buildings, Monselice*, Bernardini Editore, Padova 1998.

BALLARDINI R., *La protezione del patrimonio culturale. La questione sismica*, Gangemi Editore, Roma 1999.

PASTA A., *Restauro conservativo ed antisismico*, Flaccovio, Palermo 1999.

REGIONE DELL'UMBRIA, *Manuale per la Riabilitazione e la Ricostruzione Postsismica degli edifici*, DEI Tipografia del Genio Civile, Roma 1999.

DOGLIONI F., *Codice di pratica (linee guida) per la progettazione degli interventi di riparazione, miglioramento sismico e restauro dei beni architettonici danneggiati dal terremoto umbro-marchigiano del 1997*, Bollettino Ufficiale della Regione Marche, Ancona 2000.

CANDELA M., *Il restauro strutturale in zona sismica: l'evoluzione del consolidamento negli ultimi venti anni*, Gangemi, Roma 2001.

BORRI A., AVORIO A., CORRADI M. (a cura di), *Ricerche per la ricostruzione – Iniziative di carattere tecnico e scientifico a supporto della ricostruzione*, DEI Tipografia del Genio Civile, Roma 2002.

CAROCCI C. ET ALII, *Recupero e riduzione della vulnerabilità dei centri storici danneggiati dal sisma del 1997*, Regione Marche, Ancona 2004.

MINISTERO PER I BENI E LE ATTIVITÀ CULTURALI, ISTITUTO CENTRALE PER IL RESTAURO, *Monumenti & terremoti – Nuove esperienze di analisi di vulnerabilità/pericolosità sismica*, ENEA-MIUR, Roma 2003.

REGIONE MARCHE, *Vulnerabilità, manutenzione e progetto nel recupero post-sismico del patrimonio monumentale*, Tecnoprint, Ancona 2004.

CANGI G., *Manuale del recupero strutturale antisismico*, Dei, Roma 2005.

CLARI G., LEMME A., PODESTÀ S. (a cura di), *Regione Molise, beni monumentali e terremoto – Dall'emergenza alla ricostruzione*, DEI Tipografia del Genio Civile, Roma 2005.

GUIDOBONI E. (a cura di), *Libro di diversi terremoti*, De Luce Editori d'Arte, Roma 2005.

FANTONI L., *L'architettura fortificata in Friuli dopo il sisma del 1976*, Forum Editrice Universitaria Udinese S.r.l., Udine 2006.

MORO L. (a cura di), *Linee guida per la valutazione e la riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale*, Gangemi Editore, Roma 2006.

DOGLIONI F., MAZZOTTI P. (a cura di), *Codice di pratica per gli interventi di miglioramento sismico nel restauro del patrimonio architettonico. Integrazioni alla luce delle esperienze nella Regione Marche*, Ed. Regione Marche, Ancona 2007.

REGIONE MARCHE, CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE, UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DE L'AQUILA, *Repertorio meccanismi di danno, delle tecniche di intervento e dei relativi costi negli edifici in muratura*, Tipografie Grafiche Scarponi SRL, Osimo 2007.

SANTORO L., *Rischio sismico e patrimonio monumentale, linee guida*, Flaccovio, Palermo 2007.

LEMME A., MARTINELLI A., PODESTÀ S. (a cura di), *Regione Molise, edifici in muratura – progettazione degli interventi post sisma*, DEI Tipografia del Genio Civile, Roma 2008.

MILANO L., MARINELLA A., MORSI C., MARTINELLI A., *Schede illustrative dei principali meccanismi di collasso locali negli edifici esistenti in muratura e dei relativi modelli cinematici di analisi*, Reluis, Napoli 2008.

CANGI G., CARABONI M., DE MARIA A., *Analisi strutturale per il recupero antisismico*, DEI Tipografia del Genio Civile, Roma 2010.

DONATELLI A., *Terremoto e architettura storica. Prevenire l'emergenza*, Gangemi Editore, Roma 2010.

LAGOMARSINO S., UGOLINI P. (a cura di), *Rischio sismico, territorio e centri storici, atti del convegno nazionale, Sanremo (IM), 2-3 Luglio 2004*, Franco Angeli, Milano 2010.

MENDITTO G., *Fessurazioni nelle strutture*, Flaccovio, Palermo 2010.

MINISTERO DELL'INTERNO, *Vademecum STOP. Schede tecniche delle opere provvisorie per la messa in sicurezza post-sisma da parte dei Vigili del Fuoco*, Ministero dell'Interno, Milano 2010.

GRIMAZ S. (a cura di), *Manuale opere provvisorie l'intervento tecnico urgente in emergenza sismica*, Ministero dell'Interno, Milano 2011.

MINISTERO DELL'INTERNO, CORPO NAZIONALE DEI VIGILI DEL FUOCO, UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI UDINE, *Manuale opere provvisorie, l'intervento tecnico urgente in emergenza sismica*, Tipografia INAIL, Milano 2011.

ANCE (a cura di), *Misure di prevenzione e protezione per la manutenzione dei sistemi di sicurezza e delle opere provvisorie realizzate sui manufatti a seguito di eventi calamitosi*, ANCE, L'Aquila 2012.

CANGI G., *Il terremoto in Emilia e gli edifici in muratura*, DEI Tipografia del Genio Civile, Roma 2012.

MELETTI C., STUCCHI M. (a cura di), *Terremoto in Pianura Padana Emiliana: storia sismica dell'area*, INGV, Bologna 2012.

BLASI C., *Architettura storica e terremoti. Protocolli operativi per la conoscenza e la tutela*, Wolters Kluwer Italia, Milanofiori Assago, 2013.

CAMASSI R., CHIARABBA C., IMPRONTA L., MELETTI C., SCARPELLONI E., *Speciale due anni dal terremoto in Emilia*, INGV, Bologna 2014.

BALDINI M., NANNI A., ROSSI J., *Palazzo Borsari a Finale Emilia: rilievo e conoscenza per il restauro di un monumento danneggiato dal sisma*, tesi di laurea, Università di Bologna, Dipartimento di Architettura, relatore prof. arch. Andrea Ugolini, correlatori prof. arch. Federico Fallavollita, arch. Andrea Cavani, 2015.

COÏSSON E., FERRETTI D., LENTICCHIA E., *Structural analysis of Historical Constructions: anamnesis, diagnosis, therapy, controls*, CRC Press, Boca Raton 2016.

PERIODICI

ODDONE E., *Il terremoto dell'alta Valle del Tevere del 26 Aprile 1917*, in "Bollettino della Società Sismologica Italiana", 1917, n. 1-2, pp. 1-5.

RAVENNA D., *Sul recupero della Rocca di Stellata*, in "Architettura Fortificata – Atti del I Congresso Internazionale Istituto Italiano dei Castelli, sezione Emilia Romagna", 1978, pp. 215-217.

DI PASQUALE S., *Scienza delle costruzioni e restauro dei monumenti*, in "Restauro", 1981, X, pp. 157-165.

FIENGO G., *La conservazione dei beni culturali nella prospettiva dell'emergenza*, in "Campo", 1982, n. 9-10, pp. 54-55.

GHISLANZONI P., PITTALUGA D., *Mensiocronologia dei mattoni: la statistica applicata all'analisi*, in "Archeologia Medioevale", 1991, XVIII, pp. 683-686.

SALVADORI M., *Osservazioni di metrologia antica ed alto-medievale e dei coevi paramenti murari*, in "Opus. Quaderno di storia architettura restauro", 1993, n. 3, pp. 5-42.

ANZANI A., BARONIO G., BINDA L., MODENA C., *Tecniche di indagine e di consolidamento delle murature in pietra*, in "Ambiente costruito", 1998, n. 2, pp. 39-48.

BROVELLI E. *ET ALII*, *Chiese in Umbria. Il rilievo del danno e della vulnerabilità sismica*, in "Recupero & Conservazione", 1998, IV, pp. 24-35.

D'AYALA D., SPERANZA E., *Definition of collapse mechanisms and seismic vulnerability of historic masonry buildings*, in "Earthquake Spectra", 2003, n. 19, pp. 479-509.

PINTO A., TSIONIS G., MOLA E., TAUCER F., *Preliminary investigation of the Molise (Italy) earthquakes of 31 October and 1 November 2002*, in "Bulletin of Earthquake Engineering", 2003, n. 1, pp. 349-370.

DANZI E., PIANA M., *The Catalogue of Venetian External Plasters: Medieval Plasters*, in "Corila Scientific Research and Safeguarding of Venice, research Programme", 2004, II, pp. 65-78.

LAGOMARSINO S., PODESTÀ S., *Seismic vulnerability of ancient churches – part I: damage assessment and emergency planning*, in "Earthquake Spectra", 2004, 20, pp. 377-394.

CAROCCI C., LAGOMARSINO S., *Masonry buildings in the historic centers of the L'Aquila area*, in "Progettazione Sismica", 2009, n. 117, p. 31.

BROGIOLO G. P., *Procedure di documentazione e processi interpretative dell'edilizia storica alla luce delle linee guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale*, in "Archeologia dell'architettura", 2010, XIII, pp. 9-13.

BINDA L., MODENA C., CASARINI F., CANTINI L., MUNDA S., *Emergency actions and investigations on cultural heritage after the L'Aquila earthquake: the case of the Spanish Fortress*, in "Bulletin of Earthquake Engineering", 2011, p. 38.

CARYDIS P., CASTIGLIONI C., A. DREI, LEKKAS E., KOSTAKI I., LEBESIS N., *The Emilia Romagna, May 2012 earthquake sequence. The influence of the vertical earthquake component and related geoscientific and engineering aspect*, in "Ingegneria sismica", 2012, n. 2-3, pp. 31-58.

CATTARI S., DEGLI ABBATI S., FERRETTI D., LAGOMARSINO S., OTTONELLI D., TRALLI A., *The seismic behaviour of ancient masonry buildings after the earthquake in Emilia (Italy) on May 20° and 29°, 2012*, in "Ingegneria Sismica", 2012, n. 23, pp. 87-111.

CATTARI S., DEGLI ABBATI S., FERRETTI D., LAGOMARSINO S., TRALLI A., *Damage assessment of fortresses after the 2012 Emilia earthquake (Italy)*, in "Bulletin of Earthquake Engineering", 2013, pp. 1-34.

PALLONI D., *Prime considerazioni sui danni ai castelli modenese dopo il sisma del 2012*, in "Castellum", 2013, n.1, pp. 7-11.

CATTARI S., DEGLI ABBATI S., FERRETTI D., LAGOMARSINO S., OTTONELLI D., TRALLI A., *Vulnerabilità delle rocche e dei castelli emiliani danneggiati dal sisma del Maggio 2012: abaco dei principali meccanismi di danno*, in "Castellum", 2014, n. 55, pp. 41-52.

PERBELLINI G., *Quale futuro per i castelli emiliani dopo il terremoto del Maggio 2012*, in "Castellum", 2014, n. 55, pp. 11-16.

RANALDI A., *I danni del sisma nel ferrarese. Memorie 2012 e 1570*, in "Castellum", 2014, n. 55, pp. 53-60.

RIGHINI M., *Le rocche e le fortificazioni di Finale Emilia e San Felice sul Panaro nel XV secolo*, in "Castellum", 2014, n. 55, pp. 17-26.

COÏSSON E., FERRARI L., FERRETTI D., ROZZI M., *Non-smooth dynamic analysis of local seismic damage mechanisms of the San Felice Fortress in Northern Italy*, in "Procedia Engineering", 2016, n. 161, pp. 451-457.

NORMATIVA ITALIANA ED EUROPEA DI RIFERIMENTO

Ministero dei Lavori Pubblici, *CIRCOLARE n. 21745 del 30 luglio 1981, Istruzioni per l'applicazione della normativa tecnica per la riparazione e il rafforzamento degli edifici danneggiati dal sisma.*

D.M. 20 novembre 1987, *Norme tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo degli edifici in muratura e per il loro consolidamento.*

D.M. 16 gennaio 1996, *Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche.*

Istituto Centrale per il restauro, *La Carta del rischio del Patrimonio Culturale*, Roma 1997.

O.P.C.M. n. 3274 del 2003, *Norme tecniche per il progetto, la valutazione e l'adeguamento sismico degli edifici.*

D.L. 22 Gennaio 2004, n.42, *Codice dei beni culturali e del paesaggio.*

O.P.C.M. 3 Maggio 2005, n.3431, *Norme tecniche per il progetto, la valutazione e l'adeguamento sismico degli edifici.*

Dipartimento della Protezione Civile, Dipartimento per i Beni Culturali e Paesaggistici (Direzione Generale per i Beni Architettonici e Paesaggistici del Ministero per i Beni e le Attività Culturali), *Linee guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle norme tecniche per le costruzioni*, Luglio 2006.

D.P.C.M. 12 Ottobre 2007, *Valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle norme tecniche per le costruzioni.*

D.M. 14 Gennaio 2008, *Le Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni.*

D.P.C.M. 9 febbraio 2011, *Valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008.*

Ministero per i beni e le attività culturali, *CIRCOLARE n. 26 del 2 Dicembre 2010, Linee guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale allineate alle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni*, Gangemi Editore, Roma 2010.

EUROCODICE n. 6, *Progettazione di strutture in muratura.*

EUROCODICE n. 8, *Design provisions for Earthquake Resistance of Structures.*

SITOGRAFIA

<http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/terremoto.wp>, ultima consultazione 20 Febbraio 2013.

<http://www.mondimedioevali.net/castelli/Emilia/ferrara/ferrara01.jpg>, ultima consultazione 21 Febbraio 2013.

http://terremoti.ing.it/images/ultimieventi2012/comunicato_1d_ingv_modena5.9.pdf, ultima consultazione 23 Agosto 2013.

http://terremoti.ing.it/images/ultimi-eventi2012/comunicato_2_ingv_29maggio.pdf, ultima consultazione 23 Agosto 2013.

http://terremoti.ing.it/images/ultimi-eventi2012/ingv_comunicato4_modena.pdf, ultima consultazione 23 Agosto 2013.

http://terremoti.ing.it/images/ultimi-eventi2012/ingv_comunicato5b_modena.pdf, ultima consultazione 23 Agosto 2013.

<http://geoportale.regione.emilia-romagna.it/it/mapshop/>, ultima consultazione 31 Agosto 2013.

<http://www.ingvterremoti.wordpress.com>, ultima consultazione 12 Ottobre 2013.

<http://www.ingv.it/it/>, ultima consultazione 12 Ottobre 2013.

<http://emidius.mi.ingv.it/DBMI04/presentazione.php>, ultima consultazione 12 Ottobre 2013.

<http://www.emidius.eu/AHEAD/main/info/?en=23850>, ultima consultazione 12 Febbraio 2014.

<http://www.eeri.org/>, ultima consultazione 12 Febbraio 2014.

<http://www.nisee.berkeley.edu/elibrary/>, ultima consultazione 12 Febbraio 2014.

<http://www.castellidelducato.it/>, ultima consultazione 27 Settembre 2014.

<http://www.castellidimodena.it/>, ultima consultazione 27 Settembre 2014.

<http://www.icastelli.it>, ultima consultazione 06 Dicembre 2014.

<http://www.mondimedievali.net/castelli/>, ultima consultazione 06 Dicembre 2014.

<http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/temi/sismica/la-classificazione-sismica>, ultima consultazione 14 Febbraio 2015.

http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/A3_class20140605.pdf, ultima consultazione 14 Febbraio 2015.

<http://esse1.mi.ingv.it/d3.html>, ultima consultazione 14 Febbraio 2015.

http://www.cslp.it/cslp/index.php?option=com_search&Itemid=27&searchword=spettri&submit=Cerca&searchphrase=all&ordering=newest, ultima consultazione 14 Febbraio 2015.

<http://www.va.minambiente.it/it-IT/Oggetti/Documentazione/1142/1446?pagina=563>, ultima consultazione 14 Febbraio 2015.

http://www.intercent.it/ProceduraPST/Allegato3_PST/lotto%202%20Cento/relazione%20geologica/60RITot.pdf, ultima consultazione 14 Febbraio 2015.

http://tecnico.comunesanfelice.net/poc/doc_geo/poc1_2.pdf, ultima consultazione 14 Febbraio 2015.

http://www.intercent.it/ProceduraEPT3/Relazioni%20Geologiche/EPT_III_Lotto9_Finale%20Emilia_Relazione%20Geologica.pdf, ultima consultazione 14 Febbraio 2015.

<http://www.coordinate-gps.it/>, ultima consultazione 28 Febbraio 2015.

<http://www.comune.reggiolo.re.it/Sezione.jsp?idSezione=37>, ultima consultazione 08 Giugno 2015.

<http://www.comunesanfelice.net/>, ultima consultazione 08 Giugno 2015.

<http://www.comunefinale.net>, ultima consultazione 08 Giugno 2015.

<http://www.comune.cento.fe.it>, ultima consultazione 08 Giugno 2015.

<http://rondelet.Biblio.polimi.it/cd/index2.htm>, ultima consultazione 27 Giugno 2015.

<http://www.mastrodicasa.com/>, ultima consultazione 27 Giugno 2015.

<http://www.postterremoto.altervista.org/>, ultima consultazione 27 Giugno 2015.

<http://www.build.it>, ultima consultazione 27 Giugno 2015.

http://www.reluis.it/index.php?option=com_content&view=article&id=137%3Adatabase-murature-unina-dist&catid=34%3Anews-reluis&lang=it, ultima consultazione 27 Giugno 2015.

<http://gndt.ingv.it/Pubblicazioni/monografie.htm>, ultima consultazione 12 Luglio 2015.

<http://www.eucentre.it>, ultima consultazione 12 Luglio 2015.

<http://www.iusspress.it/pc/home.asp>, ultima consultazione 12 Luglio 2015.

<http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/TerremotoEmiliaMCS.pdf>, ultima consultazione 22 Agosto 2016.

<http://shakemap.rm.ingv.it/shake/8222913232/intensity.html>, ultima consultazione 29 Settembre 2016.

<http://shakemap.rm.ingv.it/shake/7223045800/intensity.html>, ultima consultazione 29 Settembre 2016.

<http://www.ingegneriasismicaitaliana.com/it/24/normative/>, ultima consultazione 22 Dicembre 2016.

http://leg15.camera.it/cartellecomuni/leg14/RapportoAttivitaCommissioni/testi/08/08_cap15_sch01.htm, ultima consultazione 22 Dicembre 2016.

http://www.staticaesismica.it/staticaesismica_normativa.html, ultima consultazione 22 Dicembre 2016.

http://www.academia.edu/1912078/La_classificazione_e_la_normativa_sismica_italiana_dal_1909_al_1984, ultima consultazione 22 Dicembre 2016.

http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/leg_rischio_sismico.wp, ultima consultazione 22 Dicembre 2016.

<http://www.exeo.it/evoluzione-della-legislazione-antisismica-in-italia/>, ultima consultazione 22 Dicembre 2016.

http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/Report_DPC_1_Emilia_EQSd.pdf, ultima consultazione 23 Dicembre 2016.

http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/Report_DPC_2_Emilia_EQSd.pdf, ultima consultazione 23 Dicembre 2016.

<http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/ran.wp>, ultima consultazione 23 Dicembre 2016.

[http://www.comune.bondeno.fe.it/rocca-possente/106-rocca-possente-stellata via-argine-po](http://www.comune.bondeno.fe.it/rocca-possente/106-rocca-possente-stellata-via-argine-po), ultima consultazione 01 Gennaio 2017.

<http://www.galeazza.com/it/>, ultima consultazione 03 Gennaio 2017.

<http://www.castelloestense.it/it/il-castello>, ultima consultazione 03 Gennaio 2017.

<http://www.comune.minerbio.bo.it/storia/pagina5.html>, ultima consultazione 04 Gennaio 2017.

<http://www.comunedinovellara.gov.it/servizi/Menu/dinamica.aspx?idSezione=625&idArea=672&idCat=11824&ID=11824&TipoElemento=categoria>, ultima consultazione 05 Gennaio 2017.

<http://www.comune.poggiorenatico.fe.it/c038018/zf/index.php/serviziaggiuntivi/index/index/idtesto/20056>, ultima consultazione 05 Gennaio 2017.

<http://www.emiliaromagna.beniculturali.it/index.php?it/108/ricercaitinerari/38/32>, ultima consultazione 05 Gennaio 2017.

<http://www.icastelli.org>, ultima consultazione 04 Marzo 2017.

<http://chronoengine.info/chronoengine>, ultima consultazione 11 Marzo 2017.

<http://itaca.mi.ingv.it>, ultima consultazione 19 Marzo 2017.

<http://www.sabap-siena.beniculturali.it/getFile.php?id=146>, ultima consultazione 20 Marzo 2017.

http://www.acca.it/Portals/0/3_azioni_costruzioni.pdf, ultima consultazione 20 Marzo 2017.

INDICE IMMAGINI

I CAPITOLO

FIG. 1 - Rielaborazione cartografia estratta da <http://geoportale.regione.emilia-romagna.it/it/mapshop/>, ultima consultazione 31 Agosto 2013.

FIG. 2 - Rielaborazione cartografia estratta da <http://geoportale.regione.emilia-romagna.it/it/mapshop/>, ultima consultazione 31 Agosto 2013.

II CAPITOLO

FIG. 5 - Palloni D., *I castelli*, P.G. Pazzini Stampatore Editore, Verucchio 1994, p. 14.

FIG. 6 - Luisi R., *Scudi di pietra*, Editori Laterza, Bari 1996, p. 40.

FIG. 7 - Luisi R., *Scudi di pietra*, Editori Laterza, Bari 1996, p. 43.

FIG. 8 - Luisi R., *Scudi di pietra*, Editori Laterza, Bari 1996, p. 132.

FIG. 19 - Cangi G., *Manuale del Recupero strutturale antisismico*, DEI, Roma 2005, p. 72

FIG. 73 - Cairoli Giuliani F., *L'edilizia nell'antichità*, Carocci, Roma 2006, p. 116.

III CAPITOLO

FIG. 106 - Cattari S., Degli Abbati S., Ferretti D., Lagomarsino S., Ottonelli D., Tralli A., *Vulnerabilità delle rocche e dei castelli emiliani danneggiati dal sisma del Maggio 2012: abaco dei principali meccanismi di danno*, in "Castellum", 2014, n. 55, p. 45.

FIG. 107 - Cattari S., Degli Abbati S., Ferretti D., Lagomarsino S., Ottonelli D., Tralli A., *Vulnerabilità delle rocche e dei castelli emiliani danneggiati dal sisma del Maggio 2012: abaco dei principali meccanismi di danno*, in "Castellum", 2014, n. 55, p. 45.

FIG. 108 - CATTARI S., DEGLI ABBATI S., FERRETTI D., LAGOMARSINO S., TRALLI A., *Damage assessment of fortresses after the 2012 Emilia earthquake (Italy)*, in "Bulletin of Earthquake Engineering", 2013, p. 15.

FIG. 139 - Archivio fotografico Prof.ssa Eva Coİsson.

FIG. 140 - Archivio fotografico Prof.ssa Eva Coİsson.

IV CAPITOLO

FIG. 160 - Cangi G., Caraboni M., De Maria A., *Analisi strutturale per il recupero antisismico*, Dei, Roma 2010, p. 42.

FIG. 166 - Cangi G., *Manuale del Recupero strutturale antisismico*, DEI, Roma 2005, p. 82.

FIG. 179 - Cangi G., *Manuale del Recupero strutturale antisismico*, DEI, Roma 2005, p. 246.

V CAPITOLO

FIG. 193 - Cangi G., *Manuale del Recupero strutturale antisismico*, DEI, Roma 2005, pp. 27-28.

FIG. 194 - Cangi G., *Manuale del Recupero strutturale antisismico*, DEI, Roma 2005, pp. 126,129.

FIG. 195- Archivio fotografico Prof.ssa Eva CoÏsson.

FIG. 196- Archivio fotografico Prof.ssa Eva CoÏsson.

Dove non diversamente indicato, le immagini riportate nel testo, sono state realizzate dalla Dottoranda, durante il periodo compreso tra l'anno 2013 ed il 2016, come elaborazione delle informazioni raccolte durante i sopralluoghi effettuati nei giorni 15 – 22 – 23 Febbraio 2014, 06 Agosto 2014, 08 Ottobre 2014 e dei rilievi geometrici ed architettonici ricevuti.

Gli elaborati grafici raccolti sono stati realizzati da:

- arch. Lino Zadra, dello *Studio Uteco* di Ferrara, su commissione del *Comune di Cento*, per quanto riguarda l'omonima rocca;
- ing. Stefano Valenti, per la *Rocca di Reggiolo*, su richiesta del comune di afferenza;
- l'arch. Vincenzo Vandelli, dello *Studio Progettisti Associati* di Sassuolo, per volere della *Fondazione di Vignola*, ha effettuato il rilievo della *Rocca di Vignola*;
- *Dipartimento di Ingegneria Civile, dell'Ambiente del Territorio e Architettura dell'Università degli Studi di Parma*, per la *Rocca di San Felice sul Panaro*;
- *Comune di Finale Emilia* per il *Castello delle Rocche Finalese*.

RINGRAZIAMENTI

Con la speranza di non tralasciare nessuna persona tra coloro che hanno contribuito, anche mediante un minimo supporto, alla redazione della presente ricerca, inizio i ringraziamenti dall'*incipit* dello studio, procedendo in ordine cronologico.

Si comincia con l'elenco delle strutture fortificate emiliane colpite dal sisma, reperito dopo aver contattato gli enti preposti, ovvero la *Direzione Regionale per i Beni Paesaggistici dell'Emilia Romagna*, nella persona dell'arch. Andrea Sardo.

Contemporaneamente sono state avviate le ricerche archivistiche e bibliografiche.

Per quanto concerne le prime, un ringraziamento particolare va alla Dott.ssa Patrizia Farinelli, della *Soprintendenza delle Belle Arti e del Paesaggio di Bologna, Modena, Reggio Emilia e Ferrara*, la quale mi ha guidata nella consultazione degli innumerevoli faldoni relativi i casi di approfondimento.

Le ricerche bibliografiche, che hanno accompagnato ogni momento della ricerca, sono state possibili grazie alla disponibilità prestata dall'arch. Raffaella Inglese, della "*Biblioteca Michelucci*" di Bologna, anche per quanto riguarda i numerosi prestiti interbibliotecari, e la Dott.ssa Elisabetta Marcon della *Biblioteca Comunale "Campi – Costa Giani"* di San Felice sul Panaro.

Le peripezie e le fatiche prodigate per poter ottenere i rilievi delle rocche studiate, sono state ripagate grazie alla disponibilità di molte persone.

Procedendo in ordine alfabetico:

Per la Rocca di Cento ringrazio l'arch. Beatrice Contri, dell'*Ufficio Tecnico del Comune di Cento*, e l'arch. Lino Zadra, dello *Studio Uteco* di Ferrara.

Per la Rocca di Reggiolo ringrazio l'arch. Cristiano Bernardelli, dell'*Ufficio Tecnico del Comune di Reggiolo*, e l'ing. Stefano Valenti.

Per la Rocca di Vignola un grazie speciale va alla Dott.ssa Milva Vicini, della *Fondazione di Vignola*, e all'arch. Vincenzo Vandelli, dello *Studio Progettisti Associati* di Sassuolo.

Per la Rocca di Finale Emilia ringrazio il Dott. Massimiliano Righini, studioso molto appassionato dei manufatti fortificati emiliani.

Del mondo accademico ringrazio in primo luogo il relatore Prof. Arch. Andrea Ugolini ed anche il Prof. Carlo Blasi e la Prof.ssa Eva Coïsson del *Dipartimento di Ingegneria Civile, dell'Ambiente del Territorio e Architettura* dell'*Università degli Studi di Parma*, per avermi guidata lungo questo percorso.

Ringrazio inoltre l'ing. Giovanni Cangi, vera e propria cartina tornasole degli edifici storici in muratura colpiti da eventi sismici.

Last but not least le mie colonne portanti, coloro che ci sono sempre stati e che sempre ci saranno: i miei nonni e i miei genitori, per aver sempre creduto in me e per la fiducia smodata che nutrono verso la cultura.

Grazie alla grande, ma pur sempre piccola *Rebecca*, per il colore che sa donare anche alle giornate più grigie.

Grazie a *Simone*, per il costante incoraggiamento nei momenti di sconforto, essenziale per poter portare fino in fondo questo lungo percorso in salita.

Grazie, grazie, grazie e mille grazie ancora a tutti!

Chiedo perdono nel caso, più che certo, in cui abbia dimenticato qualcuno!

